



DIPLOMARBEIT

Herr
Ing. Johannes Winkler

**Anwendung, Möglichkeiten
und Erträge bei der Nutzung
erneuerbarer Energien bei den
Bergbahnen Ellmau-Going**

Innsbruck, 2015

DIPLOMARBEIT

Anwendung, Möglichkeiten und Erträge bei der Nutzung erneuerbarer Energien bei den Bergbahnen Ellmau-Going

Autor/in:
Herr Ing. Johannes Winkler

Studiengang:
Wirtschaftsingenieurwesen

Seminargruppe:
KW11wIA-F

Erstprüfer:
**Prof. Dr.-Ing.
Ralf Hartig**

Zweitprüfer:
**Dipl. Ing.
Mario Gehre**

Einreichung:
Mittweida, 30. Mai 2015

Verteidigung / Bewertung der Diplomarbeit:

DEGREE DISSERTATION

Application, scope and profit in the use of renewable energies in the mountain Railways Ellmau-Going

author:
Herr Ing. Johannes Winkler

course of studies:
Wirtschaftsingenieurwesen

seminar group:
KW11wIA-F

first examiner:
**Prof. Dr.-Ing.
Ralf Hartig**

second examiner:
**Dipl. Ing.
Mario Gehre**

submission:
Mittweida, 30th May 2015

Defense / evaluation of degree dissertation:

Bibliografische Beschreibung:

Winkler, Johannes; Ing.

Anwendung, Möglichkeiten und Erträge bei der Nutzung erneuerbarer
Energien bei den Bergbahnen Ellmau-Going

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften,
Diplomarbeit, 2015

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, Anwendung sowie Möglichkeiten und Erträge bei der Nutzung von erneuerbarer Energien auszuwerten beziehungsweise neue Möglichkeiten aufzuzeigen.

Im ersten Schritt soll der Bestand an erneuerbaren Energien analysiert werden und die Nachhaltigkeit ermittelt werden. Abschließend soll im Punkt „Ergebnis“ der Mehrwert für die Bergbahnen Ellmau-Going ermittelt werden und ob ein solches Projekt in dieser Form umgesetzt werden sollte.

In einem weiteren Schritt wird die Möglichkeit in Betracht gezogen, ob eine Photovoltaik Anlage am Dach der sich derzeit im Bau befindlichen neuen Talstation der Hartkaiserbahn sowohl von baulicher, technischer und wirtschaftlichen Betrachtung rechnen könnte.

Abstract

This works target is to evaluate the application, scope and profit in the use of renewable energies and to show new possibilities how to use them.

In the first step I analyse the inventory of renewable energies and their sustainability. To finish I will find the additional benefit for the mountain Railways Ellmau – Going in “Ergebnis” and I will think about how to implement this project.

In the next step I want to discuss the possibility to build a photovoltaic-construction on the roof of the new valley station of the Hartkaiserbahn under structural, technical and economic considerations.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	V
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	XI
Formelverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Historie der Bergbahnen Ellmau-Going	1
1.2 Energie	4
2 Aufgabenstellung - Ziele	5
3 Nutzung erneuerbarer Energie	6
3.1 Luft Wärmepumpe.....	6
3.1.1 Historie.....	6
3.1.2 Technische Grundlagen.....	9
3.1.3 Aufgabenstellung	22
3.1.4 Ziele	23
3.1.5 Umsetzung.....	23
3.1.6 Wirtschaftliche Betrachtung	28
3.1.7 Ergebnis.....	30
3.2 Photovoltaik-Anlage	31
3.2.1 Historie.....	31
3.2.2 Technische Grundlagen.....	36
3.2.3 Standort	53
3.2.4 Bauliche Umsetzung	56
3.2.5 Technische Umsetzung	58
3.2.6 Wirtschaftliche Betrachtung inkl. Finanzierung	62
3.2.7 Förderungen	70
3.2.8 Ergebnis.....	72
4 Resümee.....	73
Literaturverzeichnis.....	XII
Danksagung	XVII
Verpflichtungs- und Einverständniserklärung.....	XVIII

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	Grad
µm	Mycrometer
10EUB	10er Einseilumlaufbahn
6KSB	6er (6 Sitze) kuppelbare Sesselbahn
ABGB	Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CLD	chairlift detachable
Co.	Compagnie
d.h.	Das heißt
Dr.	Doktor
etc.	et cetera
EvBl	Evidenzblatt Österreich (juristisch)
EVI	Enhanced Vaporized Injection
FBH	Fußbodenheizung
FIS	Internationaler Skiverband
gez.	gezeichnet
Glz	Gleichzeitigkeitsfaktor
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GWh	Gigawattstunden
ha	Hektar
HT	Hochtarif Strompreis
KG	Kommanditgesellschaft
Km	Kilometer
kN/m ²	Kilo Newton pro Quadratmeter
KW	Kilowatt
kW/p	Kilo Watt peak
kWh	Kilowattstunde
kWh/m ² a	Kilowatt pro Quadratmeter pro Jahr
kWh/p	Kilowattstunde peak
LL.M.	Master of Laws
m ³ /h	Kubikmeter pro Stunde

Max	Maximum
Mio	Million
NT	Niedertarif
o.ä.	Oder ähnlichem
OeMag	Abwicklungsstelle für Ökostrom AG
OGH	Oberster Gerichtshof
Prof.	Professor
PV	Photovoltaik-Anlage
S	Schilling
SB	Sesselbahn fix geklemmt
Schl	Schlepplift
SCHSB	Schienenstandseilbahn
SkiGIS	Ski-Geoinformationssystem
SZ	Sammlung Zivilsachen, Sammlung bürgerlich rechtlicher Entscheidungen in Österreich
ua	Unter Abschnitt
Univ.	Universität
Vgl.	Vergleich
VWL	Systembezeichnung Vaillant Wärmepumpe
W/m ²	Watt pro Quadratmeter
Wh	Wattstunden
WP	Wärmepumpe
°C	Grad Celsius
z.B.:	Zum Beispiel
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logo Skiwelt ⁴	2
Abbildung 2: Logo Bergbahnen ⁵	2
Abbildung 3: Kreisdiagramm Pistenfläche ⁶	3
Abbildung 4: Kältemaschine Linde aus dem Jahre 1877 ¹⁴	8
Abbildung 5: Energieerhaltung von Dampf ¹⁸	10
Abbildung 6: Funktionsweise Wärmepumpe ¹⁹	11
Abbildung 7: Prozess Kältemittel ²⁰	12
Abbildung 8: Komponenten einer Wärmepumpe ²⁵	16
Abbildung 9: Carnot-Prozess ²⁶	16
Abbildung 10: Plattenwärmetauscher ²⁸	18
Abbildung 11: Heißgasauskopplung ³⁰	19
Abbildung 12: geoTherm VWL S ^{32,33}	25
Abbildung 13: Bedienteil Wärmepumpe Vaillant ³⁴	25
Abbildung 14: Wärmeverteilung Fußbodenheizung ³⁷	27
Abbildung 15: Ertrag Wärmepumpe ³⁸	28
Abbildung 16: Entwicklung der Photovoltaik-Leistung ⁴⁶	32
Abbildung 17: Monokristalline Zelle ⁴⁸	33
Abbildung 18: Polykristallin ⁵⁰	34
Abbildung 19: Dünnschichtzelle ⁵²	35
Abbildung 20: Energieerzeugung Photovoltaikzelle ⁵³	36
Abbildung 21: p-n Übergang ⁵⁴	36
Abbildung 22: Raumladungszonen ⁵⁵	37
Abbildung 23: Strom-Spannungsverlauf Diode ⁵⁶	38
Abbildung 24: Bypassdiode ⁵⁷	39
Abbildung 25: Einstellung des Arbeitspunktes ⁵⁸	41
Abbildung 26: Tiefsetzsteller ⁶⁰	43
Abbildung 27: Ausgangssignal Tiefsetzsteller ⁶¹	43
Abbildung 28: Schaltungsaufbau Tiefsetzsteller ⁶²	44
Abbildung 29: Hochsetzsteller ⁶³	45
Abbildung 30: Rechteckwechselrichter ⁶⁵	48
Abbildung 31: Ausgangsspannung Wechselrichter ⁶⁶	49
Abbildung 32: Ausgangsspannung Fourier zerlegt ⁶⁷	49
Abbildung 33: Wechselrichterschaltung B6 ⁶⁸	50
Abbildung 34: Master-Slave Prinzip ⁶⁹	51

Abbildung 35: Lage Bergbahn Ellmau ⁷⁰	53
Abbildung 36: Globalstrahlung (Mittel 1971-2000). ⁷¹	54
Abbildung 37: Talstationsgebäude Bergbahn Ellmau ⁷⁴	56
Abbildung 38: Anordnung PV Module in verschiedene Zonen ⁷⁶	57
Abbildung 39: Detailplan - Ebenen PV Module ⁷⁷	57
Abbildung 40: Anlagenaufbau ⁷⁸	58
Abbildung 41: Montagemöglichkeit Aufdachsystem ⁸⁰	59
Abbildung 42: Rahmenbedingungen der Finanzierung ⁸⁷	64
Abbildung 43: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 1) ⁸⁸	65
Abbildung 44: jährliche Barwerte (Variante 1) ⁸⁹	66
Abbildung 45: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 2) ⁹⁰	67
Abbildung 46: jährliche Barwerte (Variante 2) ⁹¹	67
Abbildung 47: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 3) ⁹²	68
Abbildung 48: jährliche Barwerte (Variante 3) ⁹³	68
Abbildung 49: Berechnung (Variante 3) ⁹⁴	69
Abbildung 50: Preisentwicklung je kWp laut Studie der TU Wien ⁹⁶	70
Abbildung 51: Strompreisentwicklung je kW laut Studie der TU Wien ⁹⁷	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieverbrauch Bergbahnen Ellmau-Going 2014 ¹⁰	4
Tabelle 2: Installierte elektrische Leistung der Standseilbahn ³¹	23
Tabelle 3: Leistungsdaten Wärmepumpe ³⁵	26
Tabelle 4: Heizkreise Bergbahn Ellmau ³⁶	27
Tabelle 5: Datenerhebung gewonnene elektrische Leistung Wärmepumpe ³⁹	28
Tabelle 6: Datenauswertung Wärmepumpe Laufzeit 3 Jahre ⁴⁰	29
Tabelle 7: Einsparung fossiler Brennstoffe ⁴¹	29
Tabelle 8: Klimatechnische Daten Ellmau ⁷³	55
Tabelle 9: Bauliche Details ⁷⁵	56
Tabelle 10: Spezifikation der verwendeten Module ⁷⁹	59
Tabelle 11: DuoFlat Aufdachsystem ⁸¹	60
Tabelle 12: Leistungsaufstellung Elektrotechnik ⁸²	61
Tabelle 13: Stromverbrauch 2014 (Jahresverbrauch) ⁸³	62
Tabelle 14: Strombedarf Hoch und Niedertarif 2014 ⁸⁴	62
Tabelle 15: Stromverbrauch 2016 Jahresverbrauch hochgerechnet ⁸⁵	63
Tabelle 16: Strombedarf 2016 ⁸⁶	63

Formelverzeichnis

Formel 1: Formel für die Leistungszahl ²¹	13
Formel 2: Ohmes Gesetz	41

1 Einleitung

Die folgende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Anwendung, den Möglichkeiten und Erträgen bei der Nutzung erneuerbarer Energien, speziell soll hierbei die Implementierung und Umsetzung einer neuen Photovoltaik-Anlage, sowie die Funktionsweise der Wärmepumpen-Bestandsanlage in der Bergbahnen Ellmau–Going GmbH & Co Hartkaiserbahn KG analysiert und optimiert bzw. umgesetzt werden.

Die Analyse des Bestandes der erneuerbaren Energiequelle soll analysiert und die Nachhaltigkeit ermittelt werden. Abschließend soll im Punkt „Ergebnis“ der mögliche Mehrwert für die Bergbahnen Ellmau-Going ermittelt werden und ob ein solches Projekt in dieser Form wieder umgesetzt werden sollte.

In einem weiteren Schritt wird die Möglichkeit in Betracht gezogen, ob sich eine Photovoltaik-Anlage am Dach der sich derzeit im Bau befindlichen neuen Talstation der Hartkaiserbahn sowohl von baulicher, technischer als auch wirtschaftlicher Betrachtung rechnen könnte.

1.1 Historie der Bergbahnen Ellmau-Going

Die Bergbahnen Ellmau–Going GmbH & Co Hartkaiserbahn KG wurde am 16. Oktober 1970 unter dem Namen „Erschließungsgesellschaft Ellmau GmbH“ gegründet. Ende 1971 wurde während der schneearmen Wintersaison die Standseilbahn Hartkaiser errichtet und gemeinsam mit drei neu gebauten Schleppliften am Hartkaiser, am 30. November 1972 in Betrieb genommen. Die Kosten der Standseilbahn beliefen sich auf 36 Millionen Schilling, mit Restaurant, Tal- und Bergstation wurden jedoch über 80 Mio. Schilling¹, umgerechnet 5,8 Mio. Euro, investiert. Im Jahre 1977 erfolgte der Zusammenschluss zur „SKIWELT Wilder Kaiser – Brixental“, dem größten zusammenhängenden Skigebiet in Österreich. 280 Pistenkilometer, sowie 90 modernste Lifte und Bahnen stehen dem Gast im Winter zur Verfügung.²

¹ übernommen von: Sportcenter Festschrift Dezember 2005.

² übernommen von Skiwelt: <http://www.skiwelt.at/de/skiwelt-wilder-kaiser-brixental-1.html>.

Ab dem 26. November 1985 besteht ein Poolvertrag mit gegenseitiger Verrechnung der Einnahmen, damit wurde ein überregionaler Tarifverbund „der Großraum“ gegründet. Die Einnahmenverrechnung erfolgte nunmehr auf Basis einer Frequenzverrechnung die bis 2011 Bestand haben sollte. Ab 2011 wurde auf eine Zeitverrechnung umgestellt. Als weitere Meilensteine in der Geschichte der Bergbahnen kann 2005 der Bau des Panorama-Restaurants, 2006 die Neueröffnung des Spielparks „Ellmi’s Zauberwelt“, 2009 der Neubau des Speicherteiches Tanzboden und der 6er Sesselbahn Ellmi’s sowie 2014 der Bau eines 200 Plätze fassenden Bedienungsrestaurants bezeichnet werden. Die Erschließungsgesellschaft wurde 2006 in Bergbahnen Ellmau-Going GmbH & Co. Hartkaiserbahn KG überführt und umbenannt. Sie gehört heute zu den 13 Unternehmen in Tirol, die einen Jahresumsatz von mehr als 7,5 Millionen Euro erwirtschaften.³

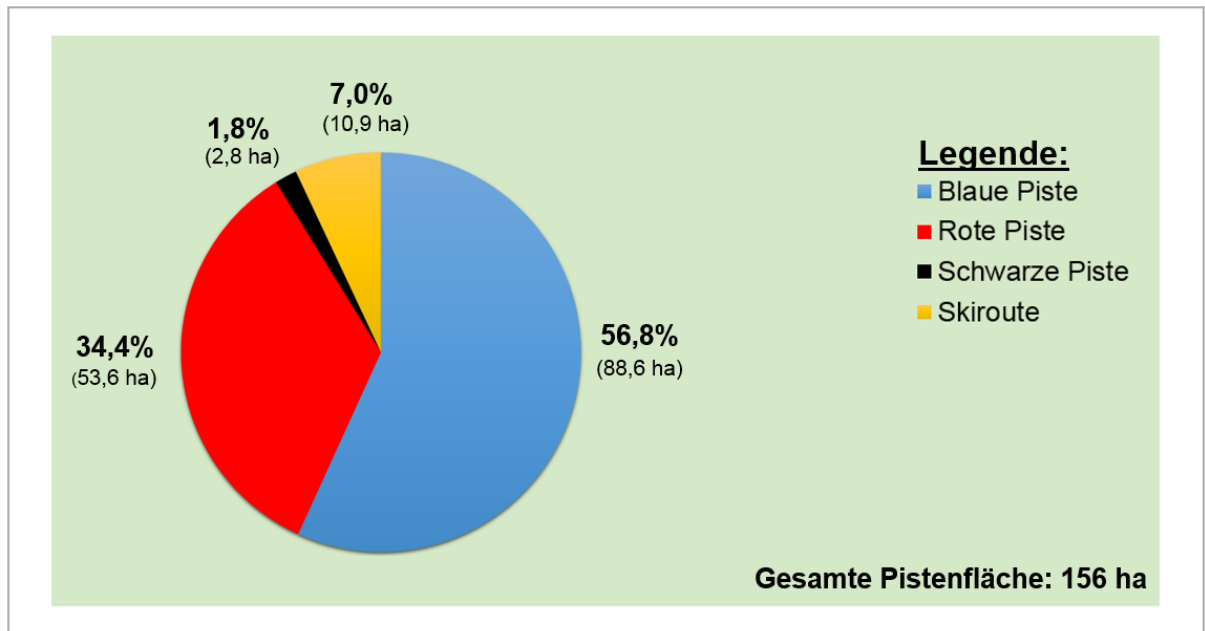
Abbildung 1: Logo Skiwelt ⁴Abbildung 2: Logo Bergbahnen ⁵

Durch ständige Erweiterungsarbeiten in den letzten Jahren, durchgeführt durch eigenes Personal und durch Fremdfirmen, sowie konsequenter Pflege insbesondere Begradigungs- und Entwässerungsarbeiten, setzen sich unsere Pistenflächen derzeit laut Abbildung 3 zusammen:

³ übernommen von: Wirtschaftsbericht der Wirtschaftskammer Abteilung „Seilbahnen. Österreichs“ 2012/ 2013 erstellt von der Firma MANOVA GmbH.

⁴ übernommen von: Bergbahnen Ellmau-Going.

⁵ übernommen von: Bergbahnen Ellmau-Going.

Abbildung 3: Kreisdiagramm Pistenfläche⁶

Der blaue Abschnitt des Diagramms spiegelt den Pistenabschnitt mit der Schwierigkeitsstufe leicht wieder (max. 25% Längs- und Quergefälle). Der rote Abschnitt zeigt die Schwierigkeitsstufe mittel (max. 40% Längs- und Quergefälle) und der schwarze Abschnitt ist die schwierigste Stufe. Sie muss die Mittelschwierigkeit übersteigen.

Der orange Abschnitt des Diagramms sind Schirouten, denen keine direkte Schwierigkeitsstufe zugeordnet wird. Die Kennzeichnung als Skiroute sagt nur aus, dass eine grundsätzlich zur Skiabfahrt geeignete Fläche vorliegt. Andererseits ergibt sich daraus, dass es sich um ungebahntes Gelände handelt, das vor auftretenden Gefahren – außer Lawinengefahren – nicht gesichert wird.⁷

Die exakte Pistenfläche beträgt 156,17ha. Sie wird vom linken Pistenrand zum rechten Pistenrand auf der kompletten Länge zuzüglich 5% Neigung und Steigungsabweichung gemessen. Eine Schwankungsbreite von 2% ist eingerechnet.⁸ Davon technisch beschneibar sind 91% der gesamten Pistenfläche exklusive der Skirouten.⁹

⁶ eigene Zusammenstellung; Kreisdiagramm Pistenfläche – Daten Bergbahnen Ellmau-Going.

⁷ Vgl. Die Verkehrssicherungspflicht für Skiabfahrten „Leitfaden für den Pisten – und Rettungsdienst“ Dr. Helmut Lamprecht; Prof. Peter Schröcksnadel; Seite 34.

^{8,9} übernommen von: „Analyse und Bedarfsermittlung der Bergbahnen Ellmau-Going“.

1.2 Energie

Energie ist für Bergbahnen ein bzw. das zentrale Thema. Die Diskussionen um CO²-Emissionen und nachhaltiges Wirtschaften ging auch an den Bergbahnen Ellmau-Going nicht vorbei. Der hohe Energiebedarf vor allem an elektrischer Energie für den Betrieb der Lifte und Bahnen sowie Beschneiungsanlagen und die spritintensive Pistenpräparierung sind neben den wirtschaftlichen Aspekten auch ein ökologisches Thema.

Energieform	Menge	Einheit
Jahresstrombedarf	6,3598	GWh
Heizöl	107.000	Liter
Dieselmkraftstoff	325.000	Liter

Tabelle 1: Energieverbrauch Bergbahnen Ellmau-Going 2014 ¹⁰

Werden alle benützten Energieformen (Strom, Heizöl, Diesel) in Heizöl umgerechnet so ergibt sich ein Jahresenergieverbrauch von ca. 989.880 Litern. Das entspricht einem Ausstoß von rund 2.984,7 Tonnen CO².¹¹

¹⁰ eigene Zusammenstellung: – Daten Bergbahnen Ellmau-Going.

¹¹ übernommen von: <http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm>.

2 Aufgabenstellung - Ziele

Ziel dieser Arbeit wird sein, die Möglichkeiten bei den Bergbahnen Ellmau-Going in Bezug auf erneuerbare Energien auszuwerten bzw. zu analysieren. Hierbei stehen in erster Linie 2 Standorte mit großen Vorteilen zur Verfügung. Die Talstation mit großer Dachfläche und mittelmäßigem aber konstantem Stromverbrauch über das ganze Jahr, und die Bergstation mit einem großen Wärmebedarf aufgrund des angeschlossenen Restaurants.

Im ersten Schritt soll der Bestand an erneuerbaren Energien analysiert und die Nachhaltigkeit ermittelt werden. Abschließend soll im Punkt „Ergebnis“ der Mehrwert für die Bergbahnen Ellmau-Going ermittelt werden, ob ein solches Projekt in ähnlicher Form wieder umgesetzt werden könnte.

In einem weiteren Schritt wird die Möglichkeit in Betracht gezogen, ob sich eine Photovoltaik-Anlage am Dach der sich derzeit im Bau befindlichen neuen Talstation der Hartkaiserbahn sowohl von baulicher, technischer als auch wirtschaftlicher Betrachtung rechnen könnte.

Ein weiteres umwelttechnisches Ziel muss sein, den CO² Ausstoß, der das globale Klima belastet, zu reduzieren. Die Bergbahnen Ellmau-Going sind sich ihrer Verantwortung gegenüber der Umwelt bewusst und suchen daher laufend nach Optimierungspotenzialen, um ihren ökologischen Fußabdruck zu minimieren.

Trotz ihres großen Energiebedarfes, der mit dem heutigen Technikstand nicht in wenigen Jahren auf CO² neutrale, bzw. CO² optimierte Verbraucher umgestellt werden kann, haben wir uns das Ziel gesetzt, unser internes Umweltmanagement weiter zu professionalisieren. Zudem sieht das Unternehmen seine gesellschaftliche Stellung, als der größte Arbeitgeber und Energieverbraucher von Ellmau, für die Sensibilisierung von Mitarbeitern, Kunden und Geschäftspartnern, für das Thema Umwelt und Klimaschutz einzustehen.

3 Nutzung erneuerbarer Energie

3.1 Luft Wärmepumpe

3.1.1 Historie

Wärme wurde schon vor Jahrtausenden von Menschen zum Erwärmen von Räumen, zum Zubereiten von Speisen oder zum Schmelzen von Metallen verwendet.

Mit der Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jahrhundert kam eine weitere bedeutende Nutzung hinzu, die für die Menschheitsgeschichte mit enormen Konsequenzen verbunden war. Die Dampfmaschine konnte erstmals Energie, in ihrer Verwendungsform umwandeln, das heißt die Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit.

Die Dampfmaschine wurde über Jahrzehnte hinweg genutzt, die wissenschaftliche Durchdringung des Zusammenhangs zwischen Wärme und Kraft begann jedoch erst deutlich später.

Grundlegend für die heutige Entwicklung waren die Erkenntnisse von Nicolas Carnot, der heute mit seinen Arbeiten als Begründer der Thermodynamik gilt. Er untersuchte die Wirkungszusammenhänge bei Dampfmaschinen und stellte unter anderem fest, dass alle Abläufe bei der Umwandlung von Wärme in Kraft im Prinzip umkehrbar (reversibel) sind.¹²

Mit dem richtigen Arbeitsmittel und unter Einsatz von Kraft lässt sich einem Medium nicht nur Wärmeenergie hinzufügen, sondern auch entziehen. Dies kann unabhängig von der Umgebungstemperatur geschehen.

Die erste funktionierende technische Umsetzung dieses Prinzips gelang dem Amerikaner Jacob Perkins, der 1835 die erste Kompressions-Kältemaschine zum Patent anmeldete.

¹² eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 17.

In seiner Erfindung waren bereits alle Basisbauteile einer modernen Kälteanlage bzw. Wärmepumpe enthalten: ein Verdichter, wärmeaufnehmende und wärmeabgebende Bauteile und eine Entspannungseinrichtung. Als Arbeitsmedium benutzte er Ether und konnte so die Temperatur unter dem Gefrierpunkt erreichen.

Weiterentwickelt wurde die Idee von John Gorrie, der 1851 eine Eismaschine baute und diese patentieren ließ. Später verwendete man als Arbeitsmedium Ammoniak, so konnte der hochexplosive Ether in den Kältemaschinen abgelöst und der Betrieb viel sicherer gemacht werden. In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts etablierte sich die Kältetechnik in der Industrie und in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts entstanden die ersten Kühlschränke auch für den privaten Gebrauch.¹³

Im Jahre 1852 wies Williams Thomson, 1. Baron Kelvin nach, dass man mit einer Kältemaschine auch heizen kann.

Aufgrund der Ölkrise 1970 erfuhr die Wärmepumpe einen wirtschaftlichen Aufschwung.

¹³ eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an:

<http://absorptionsmaschine.de/geschichte-der-waermepumpe.html>.

Doch als der Ölpreis sank, ging die Nachfrage nach den Wärmepumpen wieder stark zurück. Erst seit etwa 10 Jahren hat sich die moderne Wärmepumpe in der Haustechnik fest etabliert.

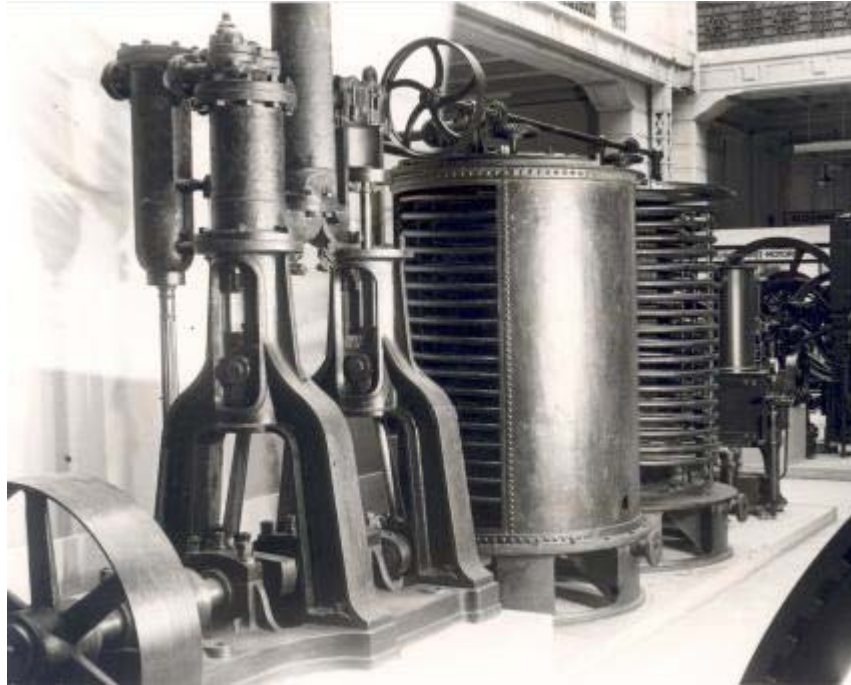


Abbildung 4: Kältemaschine Linde aus dem Jahre 1877 ¹⁴

¹⁴ übernommen von: <http://www.presseportal.de/pm/8286/370621/ein-weltpatent-feiert-geburtstag>.

3.1.2 Technische Grundlagen

Physikalische Grundlagen

Wärme ist eine spezielle Form der Energie, man spricht von einer inneren Energie. Wird diese Energie an einen anderen Stoff abgegeben, so entsteht ein Wärmestrom. Dieser fließt, wie in der Elektrotechnik auch, immer in Richtung der niedrigeren Temperatur und nie umgekehrt, d.h. der Prozess ist nicht umkehrbar (reversibel).

Beispiel

Man nehme einen Topf mit kochendem Wasser. Dieser kühlt solange ab, bis er die gleiche Temperatur wie die Umgebung besitzt. (Energieausgleich).

Nun nutzt die Wärmepumpe folgenden Effekt aus:

Führt man einem Stoff Energie zu, so steigt die Temperatur des Stoffes an. Außerdem kann es zu einer Änderung des Aggregatzustandes kommen. Führt man dem Topf mit kochendem Wasser weiter Energie zu, so beginnt das Wasser darin irgendwann zu verdampfen, es ändert also seinen Aggregatzustand. Es verdampft, ohne dabei seine Temperatur zu erhöhen.

Die Energiemenge, die in dieser Zustandsänderung steckt, nutzt die Wärmepumpe um aus einer kalten Wärmequelle Energie auf nutzbarem Temperaturniveau zu gewinnen.¹⁵

Verflüssigen und Verdampfen:

Verflüssigen und Verdampfen sind zwei Prozesse, die in einer Wärmepumpe stattfinden. Als Verflüssigen bezeichnet man den Übergang eines Gases oder Gasgemisches in den flüssigen Aggregatzustand.

Verdampfen ist der Übergang einer Flüssigkeit oder eines Flüssigkeitsgemisches in den gasförmigen Aggregatzustand.

Für das Verdampfen einer Flüssigkeit ist eine Bestimmte, vom jeweiligen Stoff abhängige Energiemenge notwendig – die Verdampfungsenthalpie.

¹⁵übernommen von: <http://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion.html>.

Die Verdampfungsenthalpie wird als Kondensationswärme wieder an die Umgebung abgegeben, wenn die Verflüssigungstemperatur unterschritten wird. Bei unveränderten Druckverhältnissen erfolgen die Phasenübergänge isotherm, d.h. die Temperatur der Flüssigkeit - ob flüssig oder gasförmig - ändert sich nicht.¹⁶

Abbildung 5 zeigt am Beispiel von Wasser, dass eine Energiemenge von 116 Watt pro Stunde (Wh) erforderlich ist, um einen Liter Wasser von 0 °C auf 100 °C zu erhitzen. Für die Erhöhung der Wassertemperatur um jeweils 1 °C werden entsprechend 1,16 Wh benötigt. Soll die Wassertemperatur bei Normaldruck 100 °C übersteigen, muss das Wasser vollständig verdampft werden. Um das zu erreichen, sind ca. 627 Wh erforderlich, also mehr als die 500 fache Energiemenge. Die gleiche Energiemenge wird freigesetzt, wenn der Wasserdampf wieder kondensiert.¹⁷

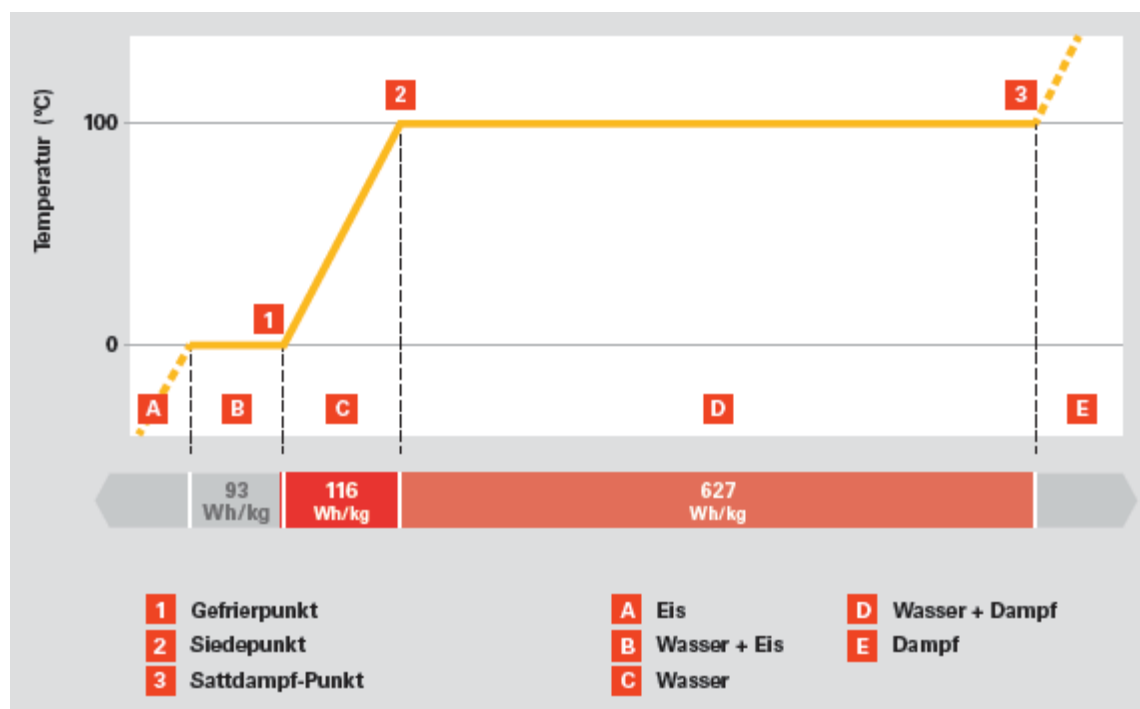


Abbildung 5: Energieerhaltung von Dampf¹⁸

¹⁶ übernommen von: <http://www.diekaelte.de/Verfluessigen-und-Verdampfen,QUIEPTM3ODU1MiZNSUQ9MzAwMDc.html>.

¹⁷ übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 19.

¹⁸ übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 19.

Kältekreis

Das Grundprinzip der Wärmepumpe ist es, Wärme durch Verdampfung bei relativ niedriger Temperatur aufzunehmen und dann auf einem höheren Temperaturniveau durch Kondensation wieder abzugeben. Da diese Übergänge bei gleichbleibendem Druck aber ohne Temperaturänderung (isotherm) erfolgen würden, muss der Druck mit Hilfe von mechanischer Energie erhöht werden, um ein höheres Temperaturniveau erreichen zu können.

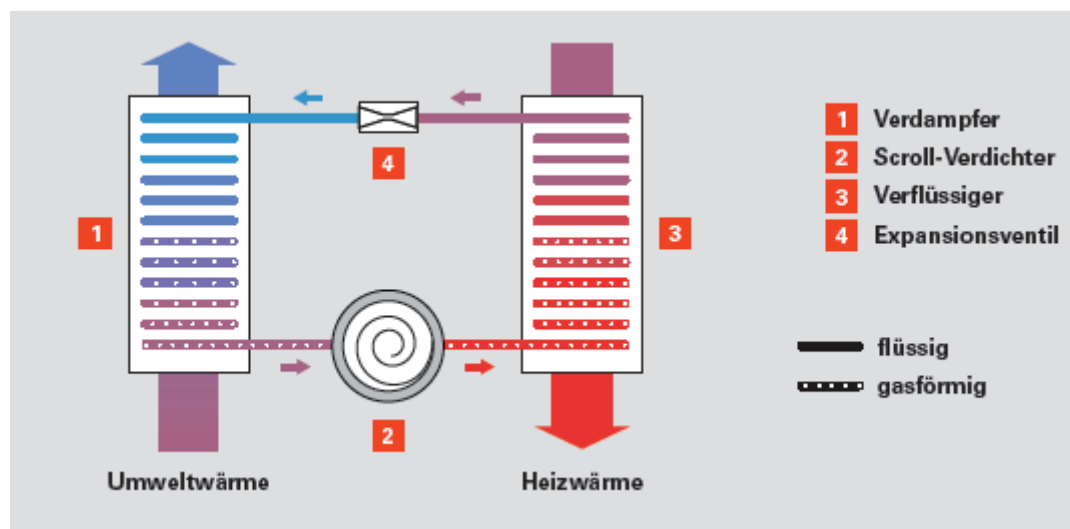


Abbildung 6: Funktionsweise Wärmepumpe ¹⁹

Das Kältemittel verdampft bei niedrigen Temperaturen und nimmt dabei Wärme auf. Das Verdichten erhöht die Temperatur des Dampfes und durch Kondensation wird die Wärme wieder abgegeben.

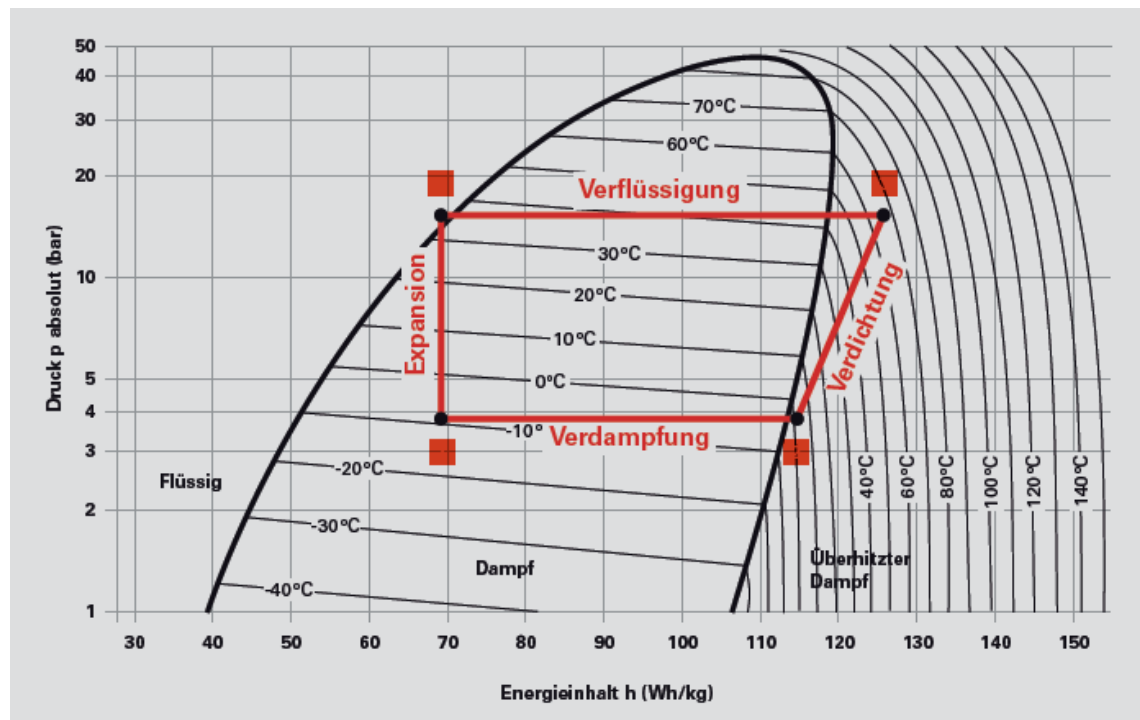
Der Kreislauf des Kältemittels kann auch in einem Druck/Enthalpie Diagramm dargestellt werden.

Die Geräte, die auf diesem Prozess aufbauen, werden nach Art der Nutzung unterschieden. Liegt der Nutzen des Gerätes auf der Seite der Verdampfung, also dem Entzug von Wärme, ist es eine Kältemaschine, liegt der Nutzen auf der Seite der Verflüssigung, also der Abgabe der Wärme (Kältemittel gibt wieder Energie ab → Zustandsänderung von gasförmig nach flüssig) ist es eine Wärmepumpe.

¹⁹ übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 21.

Im Prinzip lässt sich also mit jeder Kältemaschine heizen und mit jeder Wärmepumpe kühlen.

In Abbildung 7 kann man erkennen, welche Zustandsänderungen das Kältemittel durchläuft.



Beim Betrieb der Wärmepumpe durchläuft das Kältemittel folgende Zustandsänderungen:

- 1-2 Verdampfung**
Das Kältemittel verdampft. Die dafür notwendige Energie (Verdampfungsenthalpie) wird der Umwelt, z. B. der Außenluft entzogen.
- 2-3 Verdichtung**
Der Verdichter erhöht mit Hilfe seiner Antriebsenergie den Druck und damit die Temperatur des Kältemitteldampfes. Die Enthalpie (der Energieinhalt) nimmt zu.
- 3-4 Verflüssigung**
Der Kältemitteldampf wird durch Kondensation verflüssigt, wobei die aufgenommene Umweltenergie plus die vom Verdichter eingebrachte Antriebsenergie wieder abgegeben werden.
- 4-1 Expansion**
Das Kältemittel wird entspannt, d. h. mit Hilfe eines Expansionsventils werden Temperatur und Druck des Kältemittels auf das Ausgangsniveau gebracht. Das Medium kann wieder verdampft werden und der Prozess beginnt erneut.

Abbildung 7: Prozess Kältemittel²⁰

²⁰ übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 20.

Leistungszahl

Die Leistungszahl ist das Maß für Effizienz und ist definiert als das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand (=Wirkungsgrad). Bezogen auf die Wärmepumpe bedeutet das: Der Nutzen ist die auf hohem Temperaturniveau abgegebene Wärmemenge (Verflüssigung), der Aufwand die dazu erforderliche Antriebsenergie (Verdichtung).

$$COP = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2}$$

Formel 1: Formel für die Leistungszahl ²¹

COP...Leistungszahl

h₂...Enthalpie bei Beginn der Verdichtung

h₃...Enthalpie bei Ende der Verdichtung / Beginn der Wärmeabgabe

h₄...Enthalpie bei Ende der Verflüssigung / Ende der Wärmeabgabe

Aus der Formel ergibt sich also, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Heizkreis-Vorlauftemperatur und Eintrittstemperatur der Wärmequelle, desto höher ist die Leistungszahl.

Die Leistungszahlen moderner Wärmepumpen liegen zwischen 3,5 und 5,5. Eine Leistungszahl von 4 bedeutet beispielsweise, dass viermal so viel Energie als nutzbare Heizwärme abgegeben wird, wie als elektrische Energie eingesetzt wird.²²

²¹ übernommen von: [http://www.effiziente-mepumpe.ch/wiki/ Leistungszahl_%28COP%29](http://www.effiziente-mepumpe.ch/wiki/Leistungszahl_%28COP%29).

²² übernommen von: [https://www.energie.tirol.at/fileadmin/ komfortlueftung/02_JAZcalc.pdf](https://www.energie.tirol.at/fileadmin/komfortlueftung/02_JAZcalc.pdf).

Komponenten

Eine Wärmepumpe hat einen Primär- und einen Sekundärkreis. Unter dem Primärkreis versteht man alle Komponenten, die für die Aufnahme von Umweltenergie benötigt werden. Diese wären beispielsweise der Wärmetauscher, Solerpumpen und Lüftermotoren, etc.

Der Sekundärkreis umfasst alle Komponenten, die notwendig sind um die gewonnene Energie an den Verbraucher abzugeben. Diese wären beispielsweise Verflüssiger, Vor und Rücklauf der Heizung.

Verdichter

Der Verdichter ist der Teil der Wärmepumpe der das gasförmige Kältemittel ansaugt und es anschließend verdichtet. Alle Verdichtertypen sind für die Kompression von Gasen konzipiert und würden Schaden nehmen, wenn im Dampf befindliche Flüssigkeitstropfen angesaugt würden. Der Dampf wird deshalb leicht überhitzt, bevor er in den Verdichter gelangt. Diese Überhitzung wird mit dem Expansionsventil geregelt. Die präzise Ansteuerung dieses Bauteils ist ein wichtiger Baustein für die Effizienz der Wärmepumpe.

Leistungsregelung

Steigt die Außentemperatur, sinkt der Wärmebedarf bei gleichzeitiger Leistungssteigerung des Gerätes.

Um häufiges Takten des Gerätes zu vermeiden, wird die Leistung einer Wärmepumpe diesen Rahmenbedingungen angepasst. Die Leistung des Verdichters- und damit Druck und Temperatur des Kältemittels, wird entsprechend geregelt.

Die Leistungsregelung ist durch unterschiedliche Technologien möglich. Die am häufigsten angewandte Methode ist die Leistungsregelung des Verdichters mit Inverter Technologie. Hierbei wird die Versorgungsspannung (230 Volt ~) in eine Gleichspannung umgewandelt. Je nach Frequenz des Drehfeldes ergeben sich dann unterschiedliche Drehzahlen des Verdichters und somit unterschiedliche Leistungen. (Leistungsregelung über Drehfeldregelung → Strom)²³

²³ eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: <http://www.bine.info/themen/publikation/elektrisch-angetriebene-waermepumpen/leistungsregelung-der-waermepumpe/>.

Eine weitere Möglichkeit ist die Leistungsregelung über ein Druckentlastungsventil im Verdichter.

Im Verdichter befindet sich ein Magnetventil, öffnet dies, so wird keine Heizleistung abgegeben, da der Verdichter druckentlastet läuft. Je nach Dauer der entlasteten und belasteten Laufzeiten kann die Leistung zwischen 30% und 100% geregelt werden.

Dampfzwischeneinspritzung (Kühlung)

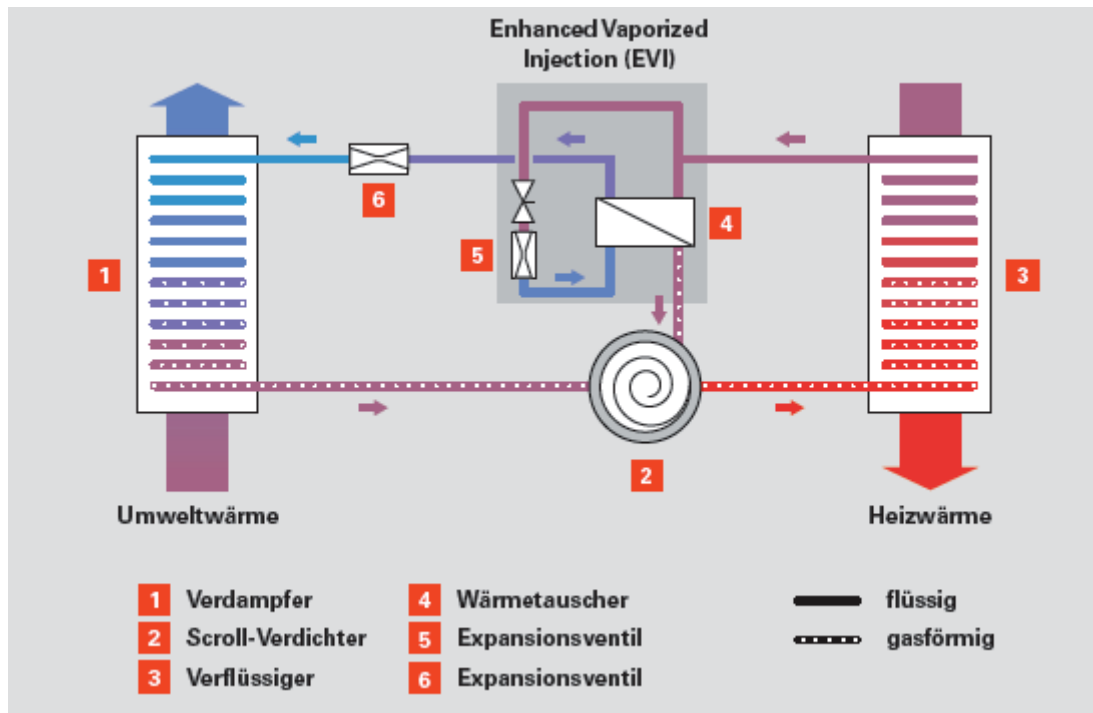
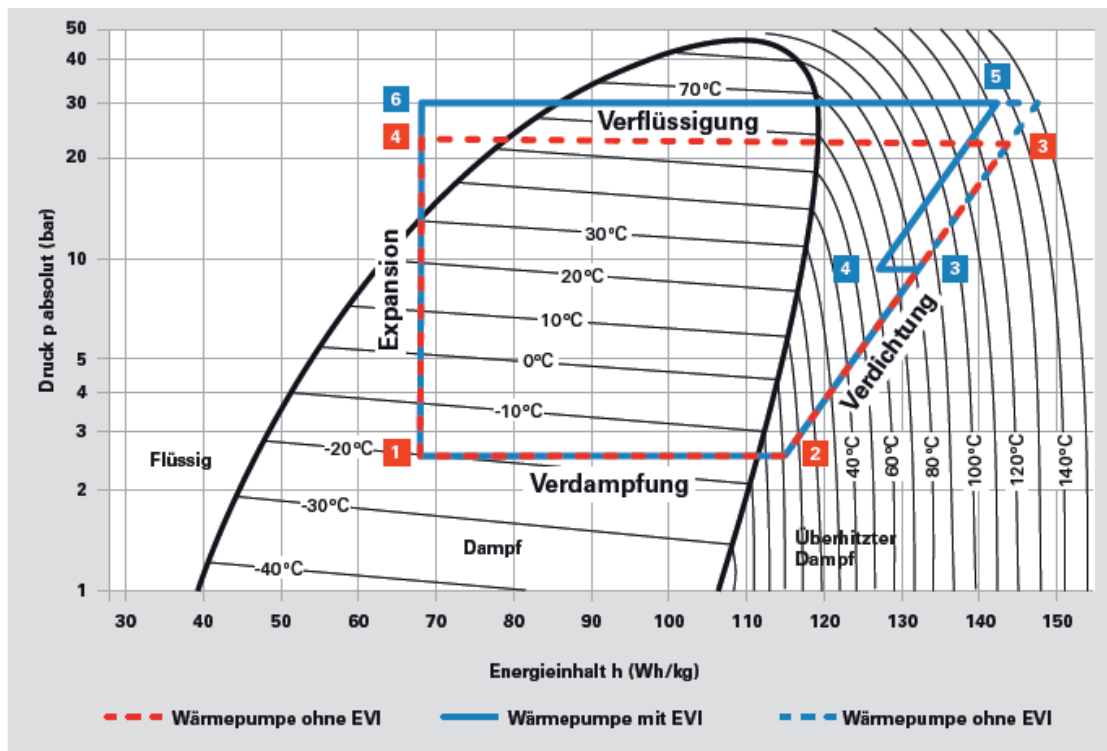
Im Gebäudebereich sind die Zieltemperaturen im Sekundärkreis durch die notwendigen Heizflächen und die Warmwassertemperatur bestimmt. Um auch bei großen Temperaturdifferenzen zwischen Quellen- und Nutztemperatur einen Betrieb zu ermöglichen, kann eine Dampfzwischeneinspritzung in den Verdichter erfolgen.

Die maximale Temperatur, die Kältemittel im Verdichtungsprozess erreichen dürfen, liegt bei 135°C. Bei höheren Werten würde der Verdichter beschädigt werden.

Bei der Dampfzwischeneinspritzung wird der verdichtete Kältemitteldampf gekühlt. Das geschieht an dem Punkt, an dem die Verdichtung zu zwei Dritteln abgeschlossen ist.

Durch die Dampfeinspritzung kann so auch bei niedriger Wärmequellentemperatur eine Vorlauftemperatur von 65°C erreicht werden.²⁴

²⁴ eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 27.

Abbildung 8: Komponenten einer Wärmepumpe²⁵Abbildung 9: Carnot-Prozess²⁶^{25,26} übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 27.

Eine Wärmepumpe ohne Dampfwischeneinspritzung kann bei einer Quellentemperatur von -10°C nur eine Vorlauftemperatur von 55°C erreichen, da der Verdichtungsprozess bei 135°C enden muss.

Durch die Dampfwischeneinspritzung (3-4, blaue Linie) findet eine Abkühlung des Kältemittels statt. Der Druck kann weiter erhöht werden, ohne die zulässige Maximaltemperatur zu überschreiten. Der Druck kann weiter erhöht werden, ohne die Maximaltemperatur zu überschreiten. Es kann eine Vorlauftemperatur von 65°C erreicht werden.

Expansionsventil

Das Expansionsventil hat im Kreislauf die Aufgabe, das noch unter Druck stehende Kältemittel zu entspannen. Zu diesem Zeitpunkt hat es die Wärme bereits an das Heizsystem abgegeben. Das Kältemittel wird so in einen Zustand versetzt, der die erneute Aufnahme von Umweltwärme ermöglicht.

Um zu verhindern, dass die Flüssigkeit in den Verdichter gelangt, regelt das Expansionsventil die Kältemittelmenge so, dass nur so viel Kältemittel in den Verdampfer gelangt, wie dort vollständig verdampfen kann. Das Ventil sorgt dafür, dass ausschließlich überhitzter Dampf in den Verdichter gelangt.

Schwankungen der Quellentemperatur und der Leistung machen den Einsatz eines geregelten Expansionsventils notwendig, da sich der Druck im Kältekreis und somit auch die benötigte Temperatur vor dem Verdichter ändert.

Es gibt zwei Arten von Expansionsventilen, ein thermostatisches und ein elektrisches Expansionsventil.²⁷

Thermostatisches Expansionsventil

Das thermostatische Expansionsventil ist ein temperaturgesteuertes Regelventil. Es misst die Temperatur in der zum Verdichter führenden Saugleitung und steuert die Kältemittelabgabe in den Verdampfer entsprechend aus.

²⁷ eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyrehg>.

Elektrisches Expansionsventil

Das elektrische Expansionsventil misst die Temperatur und den Druck vor dem Verdichter. Über einen elektrischen Stellmotor im Expansionsventil kann sehr schnell und exakt der Kältemittelstrom geregelt werden.

Wärmetauscher

In den meisten Wärmepumpen werden in der Regel Plattenwärmetauscher als Verdampfer eingesetzt, da sie eine hohe Wärmeübertragungsleistung liefern.

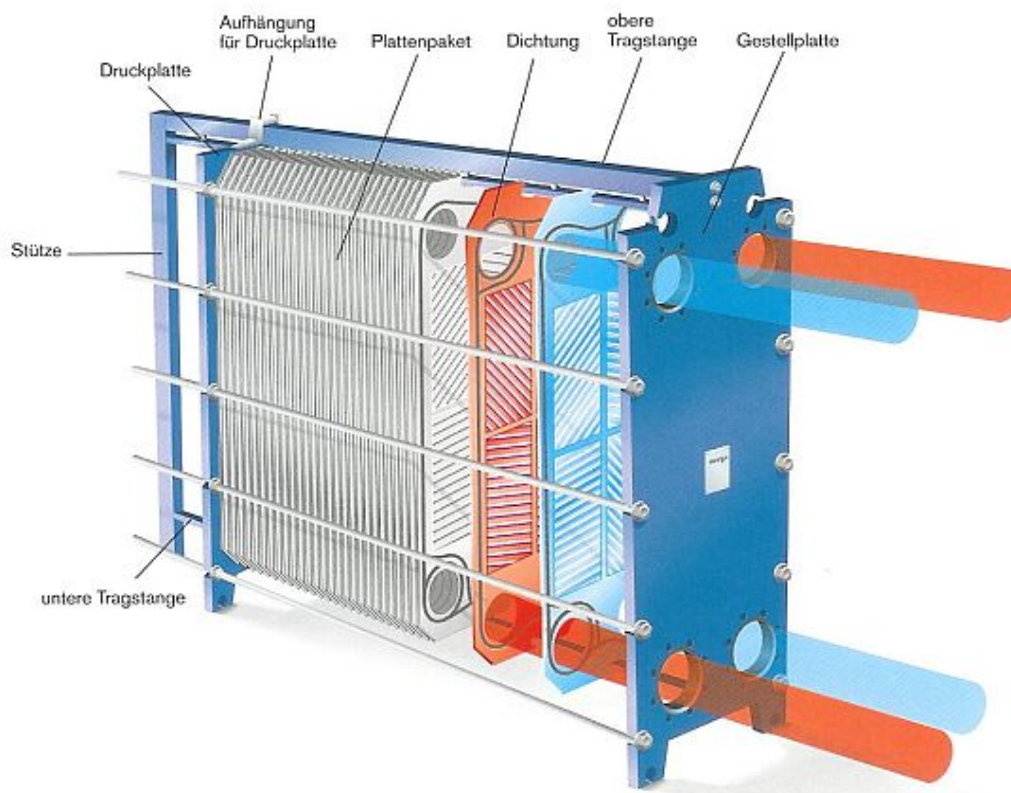


Abbildung 10: Plattenwärmetauscher²⁸

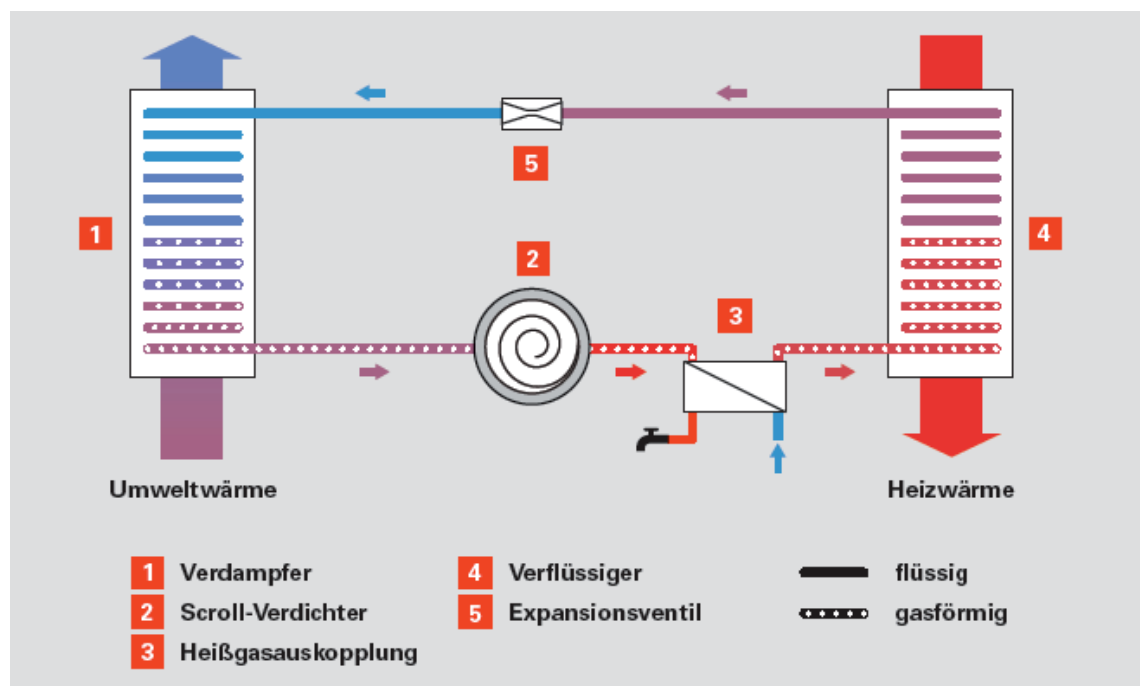
Plattenwärmetauscher funktionieren nach dem Gegenstromprinzip. Beim Gegenstromprinzip werden die Stoffe so geführt, dass sie entgegengerichtet aneinander vorbeiströmen. Idealerweise werden die Temperaturen der Stoffströme getauscht, das heißt, dass das ursprünglich kalte Medium die Temperatur des ursprünglich heißen Mediums erreicht und umgekehrt.²⁹

²⁸ übernommen von: <http://www.wasserundwaerme.de/wordpress/wp-content/uploads/2010/11/Plattenwaermetauscher-Bild.jpg>.

²⁹ in Anlehnung an: <http://www.poel-tec.com/umruestung/waermetauscher.php>.

Auch im Bereich der Verflüssigung werden vorrangig Plattenwärmetauscher eingesetzt, die sich durch ihre hohe Wärmeübertragungsleistung auszeichnen. Andere Bauformen kommen erst in einem Leistungsbereich größer als 100 kW zum Einsatz.

Bevor der Kältemitteldampf an den Verflüssiger gelangt, kann ein Teil der Heißgasenergie ausgekoppelt und für die Versorgung von Verbrauch, in der Regel die Warmwasserleitung verwendet werden. Ca. 10% der gesamten Wärmemenge werden dafür genutzt.

Abbildung 11: Heißgasauskopplung ³⁰

³⁰ übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 30.

Kältemittel

Das Kältemittel nimmt die Wärmeenergie aus der Wärmequelle bei der Verdampfung auf und transportiert sie an den Verbraucher, in dem es wieder kondensiert (sich verflüssigt).

Für die Wärmepumpe muss das Kältemittel spezielle Eigenschaften aufweisen.

- Niedriger Siedepunkt
- Kleines Dampfvolumen
- Hohe Kälteleistung
- Ungiftig
- Nicht explosiv
- Nicht brennbar
- Umweltfreundlich

Diese Anforderungen werden am besten von teilhalogenierten Fluor-Kohlenwasserstoffen erfüllt, die deshalb in Wärmepumpen verwendet werden. Bei bestimmten Anwendungen kommen auch natürliche Kältemittel wie CO₂, Propan oder Butan zum Einsatz.

Da die letzten beiden Stoffe explosiv sind, stellt deren Verwendung hohe Anforderungen an die Sicherheitstechnik.

Wärmequelle Außenluft

Außenluft als Wärmequelle erfordert den geringsten Aufwand bei der Erschließung. Die Luft wird angesaugt, im Verdampfer der Wärmepumpe abgekühlt (sie gibt ihre Wärme an das Arbeitsmedium ab) und anschließend wieder an die Umgebung abgegeben.

Bis zu einer Außenluft-Temperatur von -20°C kann eine Wärmepumpe Heizwärme erzeugen.

Zu beachten ist jedoch, dass die Wärmepumpe bei einer optimierten Auslegung und bei niedrigen Außenlufttemperaturen den Wärmebedarf für die Wohnraumbeheizung nicht mehr vollständig abdecken kann.

An sehr kalten Tagen heizt deshalb ein zusätzlicher Wärmeerzeuger (z.B.: ein elektrischer Heizstab) das von der Wärmepumpe vorerwärmte Heizwasser auf die gewünschte Vorlauftemperatur.

3.1.3 Aufgabenstellung

Die im Triebwerksraum der Standseilbahn Ellmau zur Verfügung stehende Abwärme soll mittels Luftwärmepumpe genutzt und in die Bestandsanlage (Fußbodenheizung) des Restaurants Bergkaiser eingespeist werden.

In der ersten Ausbaustufe soll vom Triebwerksraum der Standseilbahn die Abwärme genutzt werden. In einer zweiten möglichen Ausbaustufe soll zusätzlich die Abwärme der ca. 30 Meter entfernten Liftanlage genutzt werden.

Im derzeitigen Bestand befinden sich zwei Viessmann Leicht-Öl Kessel, welche die Versorgung der Anlage gewährleisten. In Summe sind 500kW Heizleistung installiert. Diese werden derzeit von einem 50.000 Liter fassenden Heizöllager-tank gespeist.

Über eine übergeordnete Steuerung von Siemens werden alle Systeme wie Lüftung, Heizung, Torluftschleier etc. geregelt. Auch in Zukunft soll in die Steuerung, welche auch weiterhin als Hauptregelung der Fußbodenheizung bestehen bleiben soll, nicht eingegriffen werden. Ein Eingriff und somit großer programm-technischer Aufwand würde sich nicht im Kostenrahmen befinden. Es muss somit eine Lösung gefunden werden, die Fußbodenheizung unabhängig der Steuerung zu betreiben.

Die Wärmepumpe soll nur während der Betriebszeiten der Standseilbahn (ca. 8:30 – 16:30 Uhr) die Fußbodenheizungen versorgen. Diese Betriebszeiten decken sich mit den Betriebszeiten des Restaurants. Danach soll die bestehende Ölheizung falls erforderlich automatisch wieder die Anlage versorgen.

3.1.4 Ziele

Warum eine Luft-Wärmepumpe?

Seit Jahren wird die Abwärme des Hauptantriebes sowie der Nebenaggregate der Hartkaiserbahn über 2 Abluftventilatoren mit je 610 m³/h ab einer Raumtemperatur von über 15°C ungenützt ins Freie geblasen. Grund dafür ist, dass ohne Fremdbelüftung der Maschinenraum überhitzen und es somit zum Ausfall der Umrichter kommen würde. An warmen Februartagen ist zusätzlich die Montagetüre zum Maschinenraum zu öffnen, da die Fremdbelüftung an ihre Grenzen stößt. Die nachströmende Luft hat Außentemperatur.

Installiert soll eine geoTHERM Vaillant - Luft-Wasser-Wärmepumpe werden. Aufgrund permanenter Plustemperaturen kann die Wärmepumpe immer im optimalen Wirkungsbereich betrieben werden. Diese überschüssige Energie ist aufgrund der räumlichen Anordnung des Maschinenhauses relativ leicht im angeschlossenen Restaurant nutzbar.

Ziel ist es, im Jahr ca. 3800 Liter Heizöl einzusparen (Betriebszeit: 9h/Tag und 250 Tage im Jahr) und dass sich die geschätzten Investitionskosten in ca. 7-8 Jahren amortisiert haben.

3.1.5 Umsetzung

Die Nutzung der Wärmequelle Luft durch die Wärmepumpe bringt einige Vorteile. Es ist keine Erdbohrung von Nöten, wodurch Kosten gespart und Installation und Aufstellung sehr vereinfacht werden. Die Besonderheit in unserem Falle ist, dass die Umgebungstemperatur nie unter +5°C fallen wird. Der Grund dafür ist, dass nach den Betriebszeiten der Bahn ein Schutzthermostat die Anlage ausschaltet.

Nr.:	Bauteil	Leistung (kW)
1.	Hauptmotor	840,0
2.	Kompressor Sicherheitsbremse	13,5
3.	Motoren und Hilfsantriebe	47,0
4.	Getriebekühlung	38,0

Tabelle 2: Installierte elektrische Leistung der Standseilbahn ³¹

³¹ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

Technische Umsetzung:

- a) Aus den errechneten Daten ist ersichtlich, dass die Leistung von ca. 20kW (A15/W40) der VWL 171/3 S für die FBH Stube und das Restaurant ohne Pufferspeicher zu groß ist.
- b) Da die FBH Stube (Bauernstube) eine geringe Leistung und eine andere Systemtemperatur hat, ist es für die beste Effizienz der WP sinnvoll, die FBH Stube getrennt von den beiden anderen Kreisen zu behandeln.
- c) Die Wärmepumpe wird in den Rücklauf der FBH des Restaurant und der FBH der Stube eingebunden.
- d) Es wird der effizienteste Betrieb unter den gegebenen Systemtemperaturen gewährleistet, da von der Wärmepumpe nur die benötigte Systemtemperatur erzeugt wird.
- e) Die bestehende Regelung bleibt völlig unverändert und ergänzt die Wärmemenge, die nicht von der WP erbracht werden kann.
- f) Die Heizkurve für die Wärmepumpe wird entsprechend der Systemtemperatur unabhängig von der bestehenden Regelung am WP-Regler eingestellt.
- g) Die Wärmepumpe wird von einem Raumthermostat bei einer minimalen Raumtemperatur von 5-10°C abgeschaltet.
- h) Ein Stillstand der Wärmepumpe hat keinen Einfluss auf die Wärmeversorgung der FBH - Kreise im Restaurant. Diese werden durch die Ölheizung übernommen.
- i) Für die online-Darstellung der VL- und RL- Temperatur, der Heizleistung und der Heizarbeit wird ein Impuls-Wärmezähler eingebaut.
Ebenfalls wird für den Strombedarf ein E-Impuls-Zähler eingebaut. Aus den gemessenen kWh von Wärme und Strom wird die Arbeitszahl errechnet und angezeigt.

Verwendete Wärmepumpe:

Aufgrund der immer positiven Raumtemperatur hat man sich für die leistungsstärkste Wärmepumpe entschieden: Die geoTHERM-plus Vaillant Luft-Wasser Wärmepumpe VWL 171/3S mit 16,4kW Heizleistung und 2 Außen-Verdampfern.



Abbildung 12: geoTherm VWL S ^{32,33}

Die Außeneinheit wurde ca. 3,5 Meter oberhalb des Antriebsmotors auf der Revisionsbühne montiert, die dazugehörige Inneneinheit direkt im Abstand von acht Metern gegenüber.

Drehzahlgeregelte Hocheffizienzpumpen sind für Heizungs- und Solekreis bereits integriert und genau auf die anlagenspezifischen Anforderungen eingestellt. Es wäre eine Vorlauftemperatur von bis zu 62°C möglich.

Diese WP kombiniert die Vorteile der Sole-Wasser Wärmepumpe mit denen der Wärmequelle Luft.



Abbildung 13: Bedienteil Wärmepumpe Vaillant ³⁴

^{32,33} übernommen von: www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-vwl-s-8339.de_at.html.

³⁴ übernommen von: www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-plus-vws-6528.de_at.html#modal-product-91503/0.

Leistungsdaten Wärmepumpe:

Außeneinheit (2 Stück)	Daten	Inneneinheit	Daten
Heizleistung(A2W35 ΔT_{5K} n. EN 14511)	16,2 kW	Nennspannung Steuer- kreis	230 V/50 Hz, 1/N/PE~
Leistungsaufnahme	4,2	Nennspannung Kom- pressor	400 V/50 Hz, 3/N/PE~
Leistungszahl	3,9	Nennspannung Zusatz- heizung	400 V/50 Hz, 3/N/PE~
Heizleistung(A2W45 ΔT_{5K} n. EN 14511)	15,6 kW	Elektr. Leistung Zusatz- heizung	6 kW
Nennspannung	400 V/50 Hz, 3/N/PE~	Sicherungstyp C (träge) 3-polig + N	25 A
Sicherungstyp C 3- polig + N	10 A	Anlaufstrom ohne An- laufstrombegrenzer	74 A
Schutzart	IP 15 B	Anlaufstrom inkl. An- laufstrombegrenzer	< 25 A
Nenn- Luftvolumenstrom	je 4690 m ³ /h	Nennvolumenstrom Heizkreis $\Delta T=5K$	3229 l/h
Min./max. Lufteintritts- temperatur	-20/35 °C	Restförderhöhe Heiz- kreis, $\Delta T=5K$	400 mbar
Anschluss Solekreis- Vor-/Rücklauf	R 1 1/4	Temperatur Heizkreis (min./max.)	25/62 °C
Kondensatablauf	120 mm	Wasserinhalt Heizkreis	6,5 l
Soleinhalt Wärmetau- scher	je 19 l	Anschluss Heizungs- Vor-/Rücklauf	G 5/4 / \varnothing 28 mm
Nennvolumenstrom Solekreis	je 2200 l/h	Anschluss Solekreis- Vor-/Rücklauf	G 5/4 / \varnothing 35 mm
interner Druckverlust Solekreis	170 mbar	Soleinhalt in der Innen- einheit	5,3 l
Entfernung 6m/3m	47/53 dB (A)	Schallleistungspegel	53 dB (A)
Schallleistung A7W35 -> En12102 -> EN 14511	55 dB (A)	Höhe/Breite	1200/600 mm
Höhe	1260 mm		
Breite	1200 mm		
Tiefe	785 mm		
Gewicht (ohne Ver- kleidung und Sockel)	95 kg		
Gewicht betriebsbereit	185 kg		
Abstand zur Innenein- heit max.	30 m		

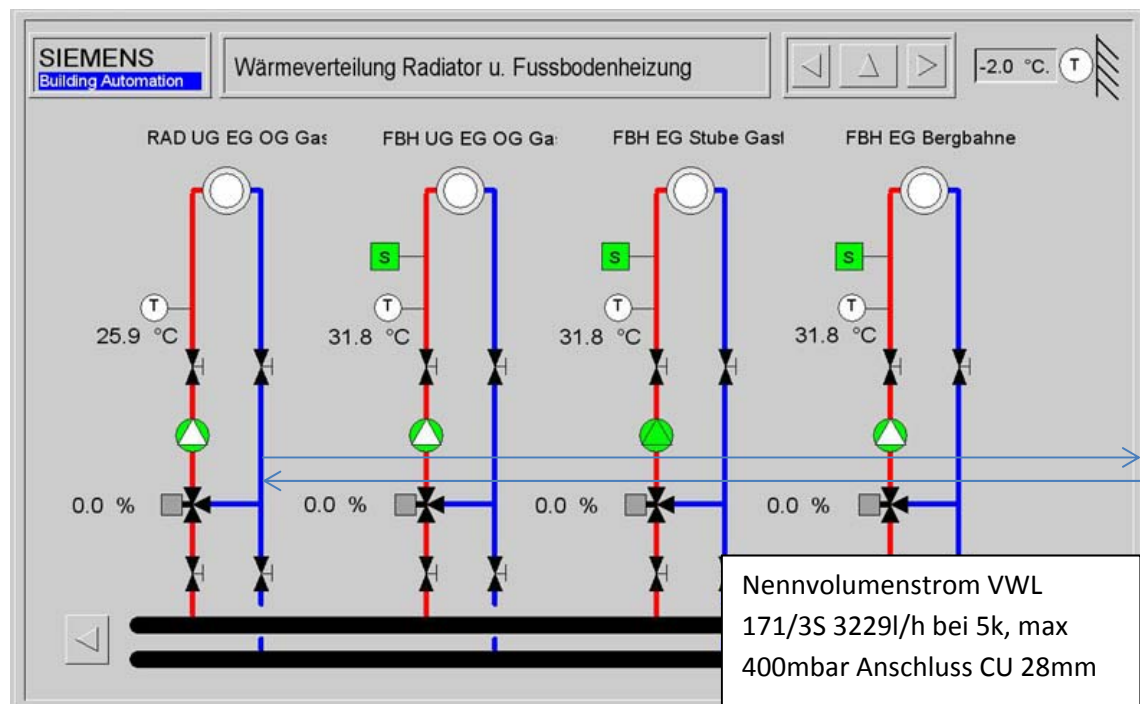
Tabelle 3: Leistungsdaten Wärmepumpe ³⁵

³⁵ übernommen von: http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-vwl-s-8339.de_at.html.

Gebäudetechnische Umsetzung:

Die zur Beheizung zur Verfügung stehenden Kreise sind:

Nr.:	Fußbodenkreis	Liter / h	Vor-Rücklauf	Leistung
1.	FBH Restaurant:	3413 l/h	40°/30°	39,7kW
2.	FBH Stube	805 l/h	50°/40°	9,4kW
3.	FBH Bergbahn	800 l/h	40°/30°	9,3kW

Tabelle 4: Heizkreise Bergbahn Ellmau ³⁶Abbildung 14: Wärmeverteilung Fußbodenheizung ³⁷

In der obigen Abbildung 14 werden die Heizkreise der Fußbodenheizung am Bergkaiser dargestellt. Die Einspeisung der Wärmepumpe erfolgt über den Rücklauf. Dies bezeichnet man als eine Rücklaufanhebung. Somit wird in die bestehende Regelung von der Firma Siemens nicht eingegriffen, auch ein möglicher Ausfall der Wärmepumpe führt also nicht dazu, dass die Bodenheizung ausfällt.

³⁶ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

³⁷ eigene Zusammenstellung: Heizungssteuerung Bergbahnen Ellmau-Going.

3.1.6 Wirtschaftliche Betrachtung

Abbildung 15 zeigt die pro Monat gewonnene Energie, abzüglich der elektrischen Leistung der Wärmepumpe.

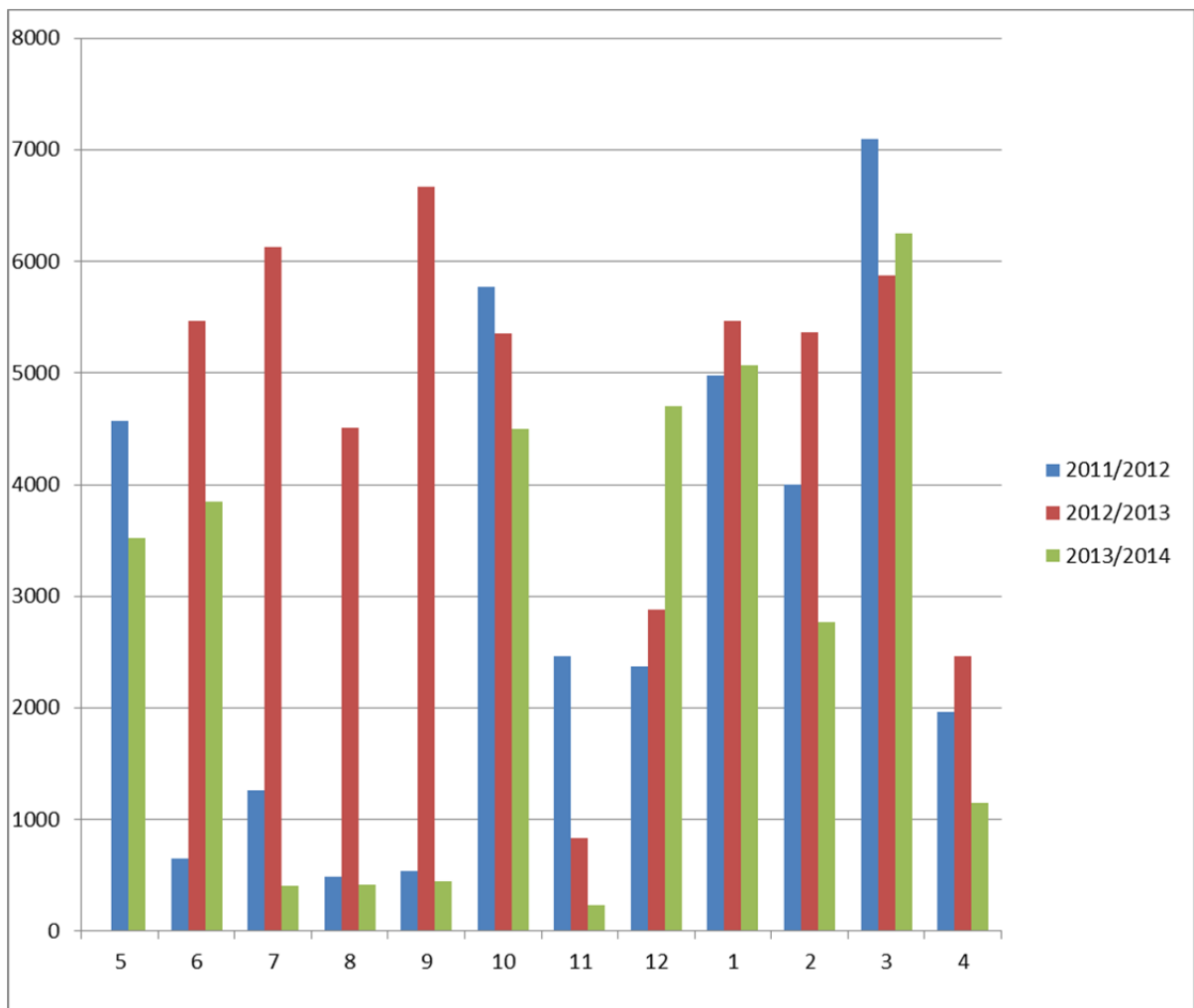


Abbildung 15: Ertrag Wärmepumpe ³⁸

Monat	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
2011/2012	0	655	1264	489	534	5776	2468	2373	4978	3996	7099	1961
2012/2013	4569	5463	6132	4512	6668	5358	836	2878	5469	5364	5876	2467
2013/2014	3526	3847	411	415	446	4498	231	4703	5074	2768	6249	1152

Tabelle 5: Datenerhebung gewonnene elektrische Leistung Wärmepumpe ³⁹

Die Schwankungen in den einzelnen Monaten in Bezug auf die Jahre sind damit zu begründen, dass im Restaurant wenig bis keine Abnahme erfolgte. Weiteres war im November 2013 ein Defekt der Soleleitung zu verzeichnen. Dieser Mangel wurde jedoch Ende November behoben.

³⁸ eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahnen Ellmau-Going.

³⁹ eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahnen Ellmau-Going.

Die unten stehende Tabelle zeigt, dass die Wärmepumpe die Energie ausschließlich an die Fußbodenheizung abgab, da der Warmwasserkreis nicht angeschlossen war.

	11/12	12/13	13/14	Einheit
Wärmepumpen-Laufzeit für Heizung	2.216	3.517	2.343	Stunden
Wärmepumpen-Laufzeit für Warmwasser	0	0	0	Stunden
Warmwasseranteil zu Heizanteil	0	0	0	%
Durch Wärmepumpe genutzte Sonnenenergie (Abwärme)	31.026	54.892	32.790	kWh

Tabelle 6: Datenauswertung Wärmepumpe Laufzeit 3 Jahre ⁴⁰

In Tabelle 7 sind die Einsparungen der fossilen Brennstoffe ersichtlich:

Medium	2011/2012	2012/2013	2013/2014	Einheit
ÖL	3.103	5.489	3.279	l
GAS	3.232	5.718	3.415	m ³

Tabelle 7: Einsparung fossiler Brennstoffe ⁴¹

Umgerechnet wurden 11.871 Liter Heizöl eingespart und durch die Wärmepumpe ausgeglichen. Die CO² Einsparung für die Heizperioden 2011 bis 2014 beträgt 28.592 kg. Die CO² Einsparung bezieht sich ausschließlich auf das Wärmequellensystem. Die Berechnung erfolgt heizöläquivalent. ⁴²

⁴⁰ eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahnen Ellmau-Going.

⁴¹ eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahnen Ellmau-Going.

⁴² übernommen von: Wärmepumpen-Markt Österreich 2005, Univ.-Prof. DI Dr. mont. Gerhard Faninger.

3.1.7 Ergebnis

Die Gesamtkosten der Anschaffung und Installation von 35.341,78 Euro wurden zur Gänze durch Werbung mit Vaillant gegenfinanziert. Diese beinhaltete alle digitalen Medien und Infotainmentsysteme, die Homepage sowie diverse Werbefolien der Bergbahn. Die Laufzeit der Werbung wurde auf 2 Jahre festgesetzt. Energietechnisch wurden in den letzten 3 Jahren in Summe 11.871 Liter Heizöl eingespart. Dies entspricht bei einem Preismittelwert von 0,76 €/netto einen Mehrwert für die Gesellschaft von ca. 9140 Euro. Nicht mit eingerechnet ist, dass der derzeitige Heizöltank von 50.000 Litern die letzten 2 Jahre nicht mehr für das Auslangen hätte sorgen können. Hier würden für eine Erweiterung der Lagerkapazität von 20.000 Liter durch die Firma KSW-Tankanlagenbau nach heutigem Stand 21.921,25 Euro zu Buche schlagen.⁴³

Die Amortisationszeit von 8 Jahren kann nicht eingehalten werden. Jedoch ist es für die Bergbahnen Ellmau-Going aufgrund der Gegenfinanzierung und den sonst nötigen baulichen Maßnahmen ein 100%iger Erfolg.

Ein weiterer positiver Nebeneffekt wurde durch die überaus starke Medienpräsenz erzeugt. Über 3 bis 4 Wochen hinweg berichteten über dieses Projekt 7 Tages und Wochenzeitungen, 3 Radiosender, 1 TV Sender und 2 Installations-Fachzeitschriften. Dieser Wert ist für beide Unternehmen nur schwer in Zahlen zu fassen.

WERBUNG ⁴⁴



⁴³ übernommen aus: KSW ANGEBOT - 078595 und 078611.

⁴⁴ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

3.2 Photovoltaik-Anlage

3.2.1 Historie

Warum Sonnenenergie?

Könnte man die gesamte Energie, die unsere Sonne auf der Erde erzeugt, nutzen, würde dies mehr als dem 10.000-fachen des globalen Energiebedarfes eines Jahres entsprechen. Es wäre also verantwortungslos und ineffizient, diese Energiequelle nicht zu nutzen. Die Sonnenenergie zählt zu den sogenannten erneuerbaren Energiequellen. Diese Energieträger werden weder versiegen, noch wird durch die Umwandlung in Strom direkt die Umwelt belastet.

Energienutzung

Sonnenenergie wird schon lange Zeit genutzt. Vorwiegend geschah dies allerdings zur Erhitzung von Wasser. Früher waren es noch einfache Kupfertanks, in denen das Wasser erwärmt werden konnte. Heute werden vorwiegend Sonnenkollektoren zur Nutzwasseraufbereitung verwendet (Solaranlage).

Für die Gewinnung elektrischer Energie aus Sonnenlicht lieferte der französische Physiker Alexandre Becquerel 1839 mit der Entdeckung des photoelektrischen Effekts die Grundlage. Erst 100 Jahre später erkannte man aber, dass dieser Effekt zur Gewinnung elektrischer Energie benutzt werden konnte. Zufällig fand der US-amerikanische Elektrochemiker Russel S. Ohl bei der Belichtung einer Siliziumprobe heraus, dass bei dieser ein elektrischer Strom zu entnehmen war. Diese Erkenntnis lieferte die Grundlage unserer heutigen Photovoltaik-Zellen. Nach einigen Erforschungs- und Entwicklungsjahren entsandte die NASA 1958 ihren ersten Satelliten mit Photovoltaik-Zellen in die Erdumlaufbahn. Das zivile Interesse an der „neuen“ Energiequelle stieg erst ab der Ölkrise 1973. Nur vereinzelt waren damals entlegene Grundstücke, die keinen Zugang zum öffentlichen Stromnetz hatten, mit autarken Photovoltaik-Anlagen ausgestattet.⁴⁵

⁴⁵ übernommen von: http://medienwerkstatt-online.de/lws_wissen/vorlagen/showcard.php?id=17646&edit=0.

Telefonnetze im australischen Outback wurden bereits in den 70er Jahren mit dem Strom aus der Sonnenenergie versorgt. Ab 1980 betrieben die USA unbemannte Ölbohrinseln autark mit PV- Modulen und Batterien. Diese stellten allerdings einen hohen Wartungsaufwand dar, da die Batterien nach wenigen Monaten wieder getauscht werden mussten. Die Einspeisung ins öffentliche Netz wurde erst durch das Stromeinspeisungsgesetz im Jahr 1991 möglich. Dieses Gesetz verpflichtet den jeweiligen Netzbetreiber die produzierte Energie aus Photovoltaik- Anlagen abzunehmen.

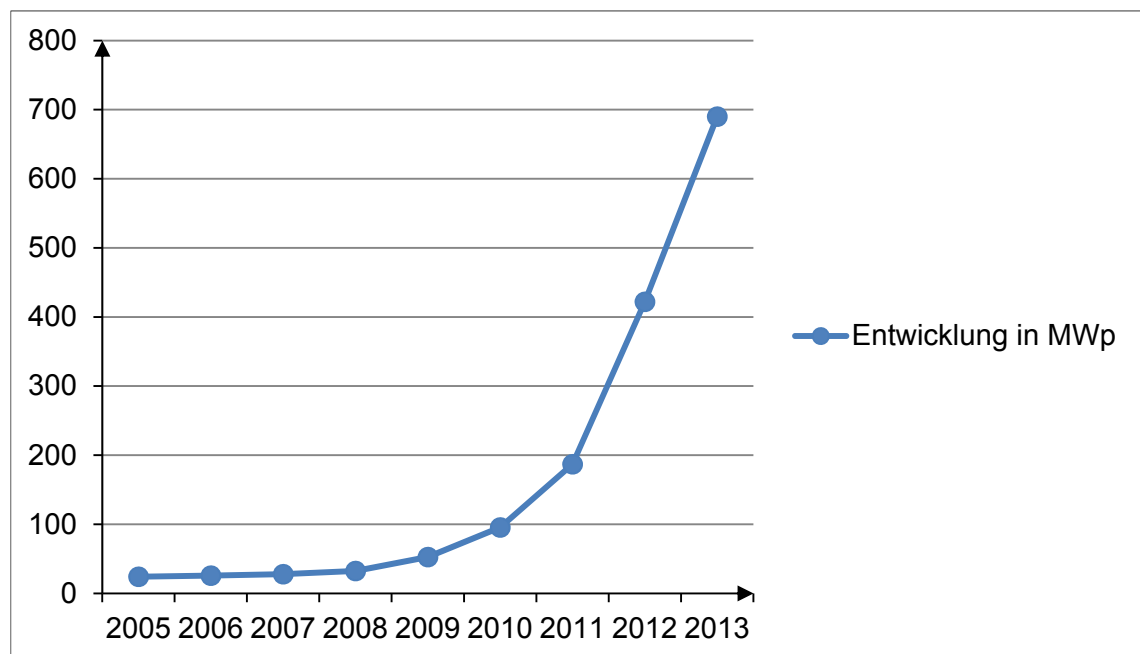


Abbildung 16: Entwicklung der Photovoltaik-Leistung ⁴⁶

⁴⁶ übernommen von: http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2014/06/2014-06-12-Entwicklung_PV_in_Oesterreich.jpg.

Modularten

Grundsätzlich werden Photovoltaik-Zellen in 2 Gruppen unterteilt: Kristalline Module und Dünnschichtmodule. Der Großteil aller Photovoltaik- Zellen (weltweit 95%) werden aus Silizium hergestellt. Bei den Kristallinen Modulen wird auch zwischen Silizium-Zellen mit monokristalliner und polykristalliner Struktur unterschieden.

Monokristallin

Im Herstellverfahren für monokristalline Photovoltaik- Module werden die Zellen aus einem Siliziumblock gezogen. Dabei entsteht eine Einkristall-Zelle und Defekte, an den auftretenden Kristallgrenzen, können vermieden werden. Dies hat den Vorteil, dass ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden kann. Diese Zellen werden in einzelne, sogenannte „Wafer“ zersägt (0,18- 0,28mm dick) und anschließend zu einem fertigen Modul verschalten. Heute kann mit solchen Modulen ein Wirkungsgrad von bis zu 20% erreicht werden. Dies bedeutet, dass diese Module besonders effektiv sind, wenn nur kleine Flächen zur Verfügung stehen oder eine hohe Leistung verlangt wird. Der Nachteil bei diesen PV- Zellen ist der hohe Fertigungspreis und die geringe Lageflexibilität. Diese ist dadurch der Fall, dass der Wirkungsgrad nur bei einigermaßen südausgerichteter Lage erreicht werden kann und dieser auch bei diffusem Licht stark abnimmt. Typisch für die monokristalline Ausführung ist die „square- round“-Form der Wafer. Außerdem besitzen sie eine dunkelblaue bis schwarze Zellenfarbe. Zurzeit werden ca. 30% aller Photovoltaik- Anlagen mit monokristallinen Modulen ausgeführt.⁴⁷



Abbildung 17: Monokristalline Zelle ⁴⁸

⁴⁷ in Anlehnung an: <http://www.eps-solarstrom.de/photovoltaik/module.php>.

⁴⁸ übernommen von: <http://www.energieteam-sued.de/index.php?pageStandardmodul>.

Polykristallin

Der Unterschied in der Herstellung von mono- bzw. polykristallinen Photovoltaik- Zellen liegt in der „Reinheit“ des Siliziums. Im Gegensatz zur monokristallinen Erzeugung wird das Silizium nicht aus einem Block gezogen, sondern zunächst in einzelne Blöcke gegossen, worin sie dann langsam abkühlen. Durch dieses Abkühlen entstehen intern verschiedene Kristallstrukturen, welche an ihren Kanten zu kleinen Kristallfehlern führen. Aus diesen Blöcken werden einzelne Scheiben abgetrennt, welche später die einzelnen Zellen bilden. Diese Zellen werden dann größtenteils in Serie zu einem ganzen Modul verschalten. Bei der Serienschaltung wird eine höhere Spannung erzeugt, wohingegen bei der Parallelschaltung ein höherer Strom abgenommen werden kann. Die Serienschaltung ist vor allem bei kleineren Anlagen sehr geeignet. Die Parallelschaltung weist Vorteile in der Ertragsausbeute bei Teilabschattungen auf. Der momentane Marktanteil an installierten polykristallinen Anlagen liegt ca. bei 50%. Diese Module erreichen im Gegensatz zu den monokristallinen allerdings nur einen Wirkungsgrad zwischen 12% und 16%. Allerdings sind die Herstellungskosten durch das nicht so reine Silizium um ein vielfaches billiger und der Verschleiß, der durch die „square- round“-Form bei monokristalliner Bauform entsteht, entfällt. Die Zellen sind rechteckig aneinander geordnet und weisen einen helleren Blauton als Monokristalline auf. Vor allem auf großen Flächen sind Anlagen mit polykristalliner Ausführung rentabel, da hier der Wirkungsgrad der einzelnen Module nicht zwingend riesengroß sein muss.⁴⁹

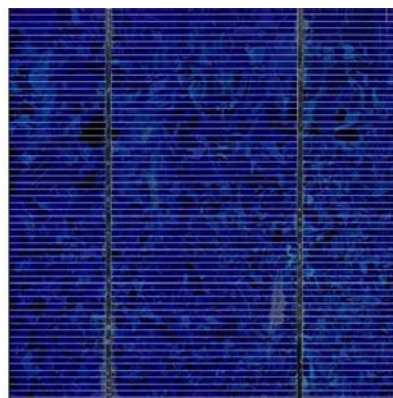


Abbildung 18: Polykristallin ⁵⁰

⁴⁹ in Anlehnung an: <http://www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme>.

⁵⁰ übernommen von: <http://www.eps-solarstrom.de/photovoltaik/module.php>.

Dünnschichtmodule

Da das einstrahlende Licht bei allen Modulen in der oberen Schicht (ca. 10µm) absorbiert wird, entstand die Idee, eine möglichst dünne und somit ressourcensparende Technik zu entwickeln. Dünnschichtmodule werden aus amorphen Zellen hergestellt. Amorph bedeutet, dass die Atome z.B. im Silizium nicht in Kristallstrukturen angeordnet sind, sondern in willkürlicher Form auftreten. Bei den meisten Dünnschichtmodulen wird eine nur wenig µm dünne Schicht Silizium, Kupfer oder Cadmiumschicht auf Glas aufgedampft. Über diese Schicht kommt als Abdeckung meistens noch eine Schicht aus Glas. Typisch für diese Photovoltaik- Module ist eine dunkelgrün bis schwarze monotone Oberfläche. Die Erzeugungskosten für diese Typen sind durch den Materialaufwand und die gute Automatisierbarkeit des Aufdampfvorganges gering. Eingesetzt werden diese so zum Beispiel in handelsüblichen Taschenrechnern. Nachteil bei diesen Modulen ist ihr geringer Wirkungsgrad, welcher zwischen 4% und 10% liegt. Somit würde sich eine Photovoltaik- Anlage mit größerer Fläche besser für diese Module eignen. Vorteile finden sich zudem im guten Leistungsertrag bei diffusem Licht und Abschattung. Auch bei hohen Temperaturen ändert sich der Wirkungsgrad nur geringfügig und es ist keine strenge Südausrichtung zwingend.⁵¹

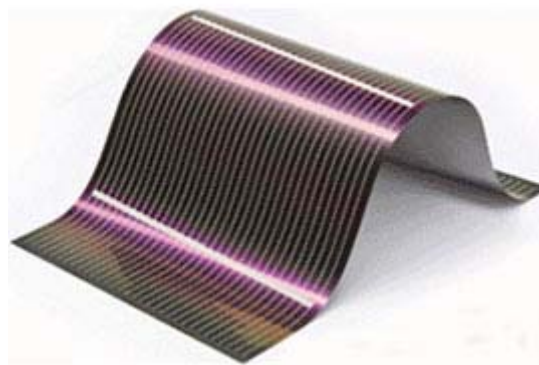


Abbildung 19: Dünnschichtzelle⁵²

⁵¹ in Anlehnung an: <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikeljuni2006.html>.

⁵² übernommen von: <http://www.solarserver.de/l8mimages/news/gse.jpg>.

3.2.2 Technische Grundlagen

Die Technik der Solarzelle baut auf den Photoeffekt auf. Dieser Effekt beschreibt die Änderung eines Elektrons auf ein anderes Energieband im Atommodell nach Bohr. Diese Änderung wird beim Photoeffekt durch Photonen, also einstrahlendes Licht, erzielt. Bei diesem Atommodell werden die Elektronen in Bänder eingeteilt. Während bei einzelnen Atomen Elektronen genau definierte Energiezustände einnehmen, befinden sie sich bei Molekülen auf verschiedenen Energiebändern, welche eine Wechselwirkung der Elektronen hervorrufen. Das Band mit vollständig gefüllten Elektronen wird Valenzband genannt, das Nächst höhere ist das Leitungsband. Dieses kann vollständig leer sein oder teilweise mit Elektronen gefüllt sein.

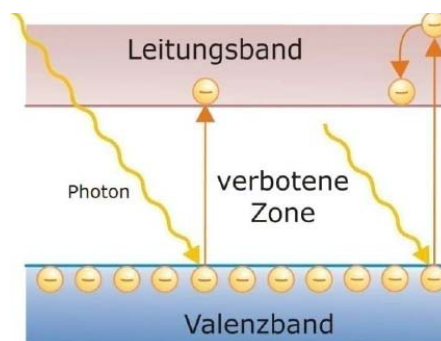


Abbildung 20: Energieerzeugung Photovoltaikzelle ⁵³

Durch Einwirkung von Photonen (durch Sonnenlicht) können die Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband angehoben werden. Um diese Energie in elektrischen Strom umzuwandeln ist ein internes elektrisches Feld nötig. Dieses wird durch einen p-n Übergang erzeugt.

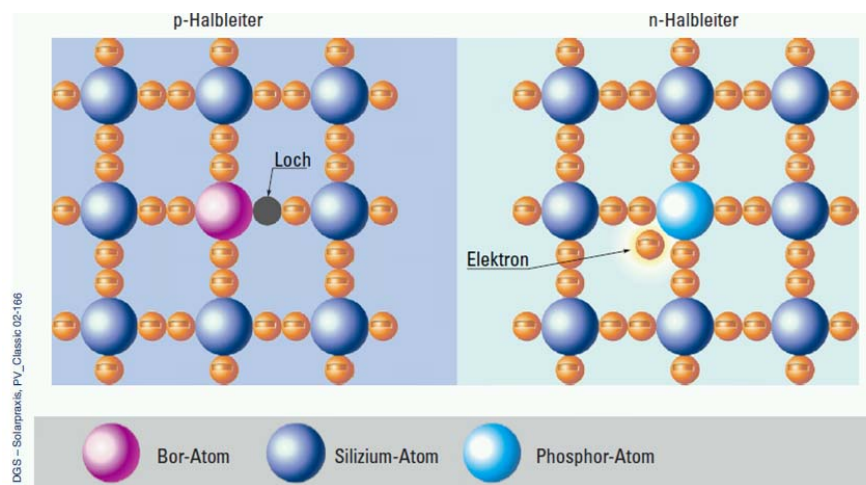


Abbildung 21: p-n Übergang ⁵⁴

⁵³ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Volker Quaschnig.

⁵⁴ übernommen von: <http://www.work-crew.de/wordpress/wp-content/uploads/2011/>.

Halbleiter wie z.B. Silizium besitzen in ihrer äußeren Schale 4 Valenzelektronen. Eine n- Dotierung wird erreicht indem ein Atom mit 5 Valenzelektronen ins Siliziumgitter eingebaut wird.

Dieses überschüssige Elektron ist nun sehr locker gebunden und kann durch geringe Energiezufuhr verschoben werden. Man bezeichnet diese zusätzlichen Atome als Donatoren.

Eine p- Dotierung wird durch Einfügen eines Atoms mit 3 Valenzelektronen erzielt. Im Beispiel wird hierfür ein Boratom ins Siliziumgitter eingefügt. Es entsteht in der p- dotierten Schicht ein Elektronenmangel, der sich in Form von „Löchern“ zeigt. Die Fremdatome in dieser Dotierung werden Akzeptoren genannt.

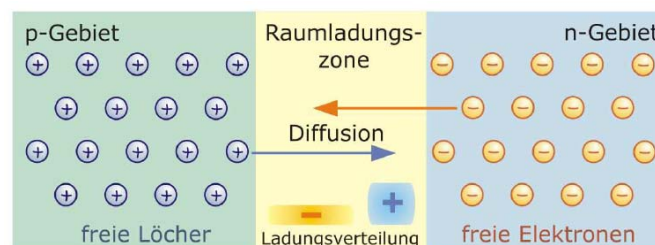


Abbildung 22: Raumladungszonen⁵⁵

Wird nun ein n-Gebiet mit einem p-Gebiet zusammengeführt entsteht ein p-n Übergang. Die überschüssigen Elektronen im p-Gebiet wandern in die Löcher im n-Gebiet und umgekehrt. Durch diese Wechselwirkung entsteht in der Raumladungszone ein elektrisches Feld.

Durch Einstrahlung von Photonen werden nun, wie zuvor erklärt, Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband angehoben. Sie werden vom Atom gelöst und wandern in das n-dotierte Feld. Die entstehenden Lücken wandern ins p-Gebiet.

⁵⁵ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 174, Volker Quaschnig.

Im Strom- Spannungsverlauf ist die Schwellspannung der Diode zu erkennen (Knick). Die verschiedenen Kurven entspringen aus den verschiedenen Bestrahlungsstärken $[E]$ auf die Zelle. ⁵⁷

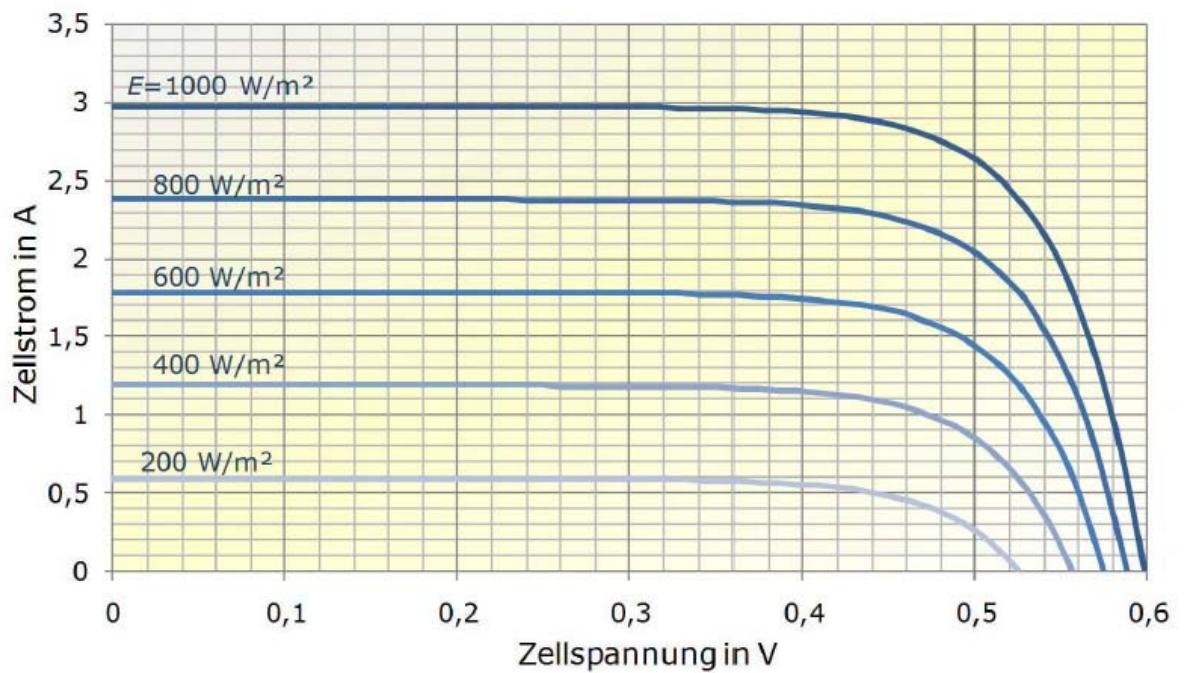


Abbildung 23: Strom-Spannungsverlauf Diode ⁵⁶

⁵⁶ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 186, Volker Quaschnig.

Sicherheitseinrichtungen

Bypassdiode

Besteht eine fertige Photovoltaik- Anlage aus mehreren Modulen, welche in Serie geschaltet sind, werden die Bypass Dioden benötigt. Diese werden in Sperrrichtung parallel zu den Zellen verschaltet. Beim Ausfall oder bei Verschattung eines Moduls würde die Bypass Diode zum sogenannten Hot Spot führen. Dieser Fall tritt ein, wenn die Spannung des restlichen Strings die Sperrspannung des Moduls überschreitet. Dies führt zur Zerstörung des Moduls und kann zu Bränden der kompletten Anlage führen. Durch die Bypass Dioden wird im Fehlerfall das defekte Modul umgangen.

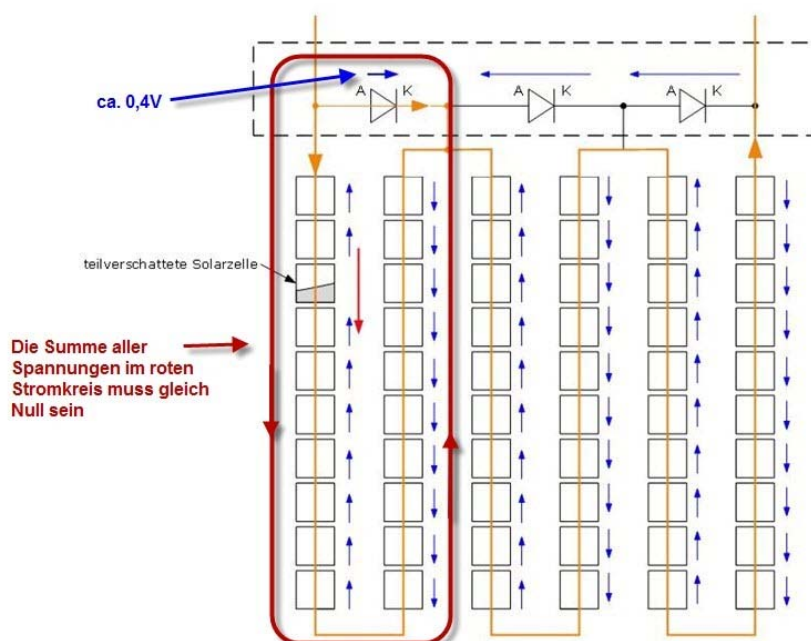


Abbildung 24: Bypassdiode ⁵⁷

⁵⁷ übernommen von: <http://www.photovoltaikebuero.de/wp-content/uploads/2014>.

Leitungsdimensionierung

Die Gleichstromhauptleitung muss so dimensioniert sein, dass ein Spannungsabfall von höchstens 1% von der Generatorspannung auftritt. Auf zusätzlichen Überstromschutz kann hier verzichtet werden, da der Kurzschlussstrom des Generators nur geringfügig über dem Dauerlaststrom liegt. Alle Leitungen wie Gleichstromhauptleitung, Modulanschlussleitung sowie Strangleitung müssen zudem so ausgelegt werden, dass Kurz- und Erdschlüssen vorgebeugt wird (Kabelkanäle, Schutzisolierungen).

Freischalter

Der Freischalter wird als DC- Lasttrenner ausgeführt und dient zur völligen Freischaltung von Netz und Modulen (Generator). Sonderformen hierbei sind zum Beispiel der sogenannte Feuerwehrscharter. Dieser ermöglicht den Einsatzkräften im Brandfall eine Fernabschaltung oder direkte Abschaltung vor Ort.

Blitz und Überspannungsschutz

Für Photovoltaik- Anlagen ist keine konkrete Blitzschutzanlage vorgeschrieben. Angesichts des zu erwartenden Schadens bei einem Blitzschlag ist allerdings ein Überspannungsableitungssystem im Gleichstromteil zu empfehlen. Dazu sind Überspannungsableiter im Generator- Anschlusskasten nötig.

Wechselrichter

Um nun die erzeugte Leistung des Solarmoduls verwenden zu können, ist eine Beschaltung mittels einer Last erforderlich. Dadurch kann die elektrisch erzeugte Energie in eine brauchbare Energie transformiert werden. Dazu gibt es verschiedene Verfahren. Die einfachste Form ist das Verfahren mittels eines elektrischen Widerstandes. Hierzu wird einfach ein Widerstand als Last verwendet.

Mit dem Widerstand werden Strom und Spannung des Photovoltaik- Moduls gleichgesetzt. Die Kennlinie eines elektrischen Widerstandes beschreibt sich als Gerade zwischen dem Verlauf der Spannung und des Stroms. Der Strom lässt sich mit der folgenden Formel ermitteln:

$$I = \frac{U}{R}$$

Formel 2: Ohmes Gesetz

Durch Umformung auf die Spannung U kann der Arbeitspunkt ermittelt werden.

$$U = R * I$$

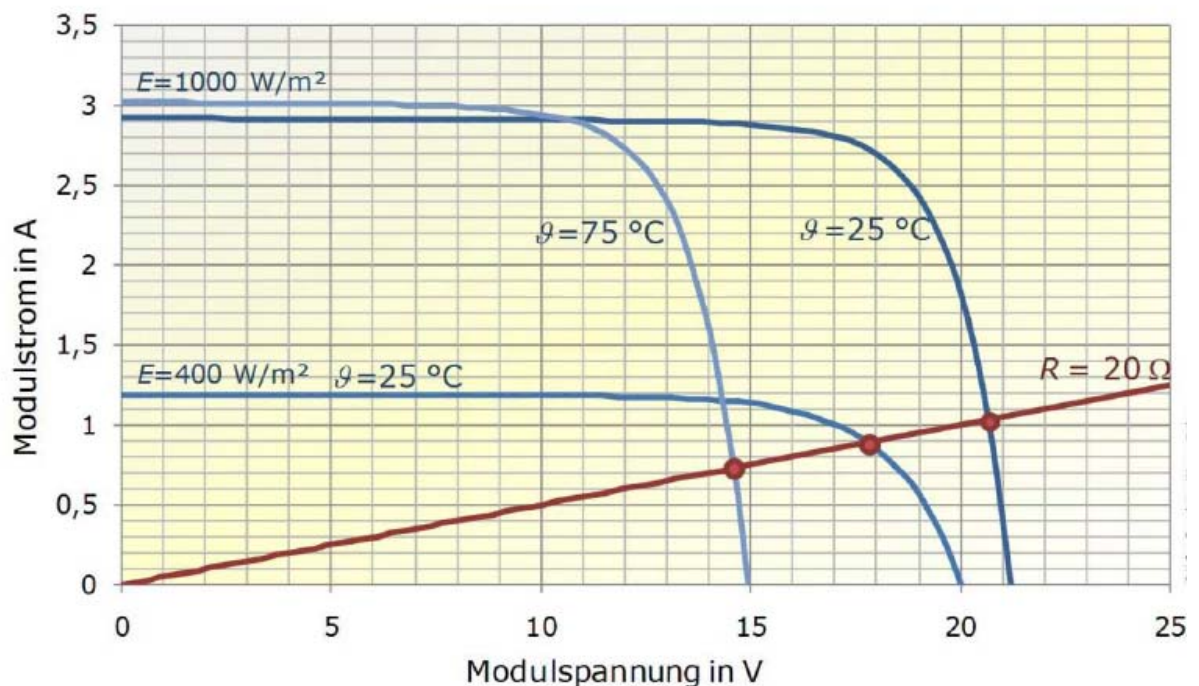


Abbildung 25: Einstellung des Arbeitspunktes ⁵⁸

⁵⁸ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 205, Volker Quaschnig.

In der Abbildung wird der Verlauf der Spannung zum Strom bei verschiedenen Einstrahlungsstärken und Temperaturen dargestellt. Die eingefügte Widerstandsgerade zeigt den jeweiligen Arbeitspunkt an, wobei er bei einer Einstrahlung von $E=400\text{W/m}^2$ und einer Temperatur von 25° Celsius fast im MPP (Maximum Power Point), also beim optimalen Arbeitspunkt, liegt. Bei den beiden anderen Fällen wird das Modul bei einem wesentlich schlechteren Arbeitspunkt betrieben. Um die Module bei verschiedenen Einstrahlungen und Temperaturen im MPP betreiben zu können, müssen effektivere Verfahren verwendet werden.

Gleichspannungswandler

Die Leistungsausbeute vom Solargenerator lässt sich deutlich verbessern, wenn zwischen Verbraucher und Solargenerator (Module) ein Gleichspannungswandler geschaltet wird.

Ein Umrichter ermöglicht, dass an den PV-Generator (Modul) eine andere Spannung, als die am Verbraucher, anliegt. Die Arbeitsweise eines Gleichspannungswandlers geschieht mittels Einstellung einer Spannung, welche sowohl bei schwacher Einstrahlung oder hoher Temperatur auf einen konstanten Wert festgelegt wird. Gleichspannungswandler können einen Wirkungsgrad von über 90% erreichen, wobei nur ein kleiner Teil der Leistung in Wärme verloren geht.

Wird eine konstante Spannung am Gleichspannungswandler eingestellt, so sollte dies zu einer beachtlichen Verbesserung der Arbeitspunkte in den verschiedenen Betriebsfällen führen.⁵⁹

⁵⁹ in Anlehnung an: Regenerative Energiesysteme, Seite 206, Volker Quaschnig.

Tiefsetzsteller

Wenn an der Last ständig eine geringere Last als am PV- Generator anliegen soll, wird ein Tiefsetzsteller verwendet. Der Tiefsetzsteller setzt sich aus einem Taster S , einer Diode D und einer Induktivität L zusammen. Wichtig für die Berechnungen sind die Zeiten, in denen der Schalter S geschlossen ist (T_E) und der Strom, der durch die Induktivität L ein Magnetfeld aufbaut, in dem die Energie kurzzeitig gespeichert wird.

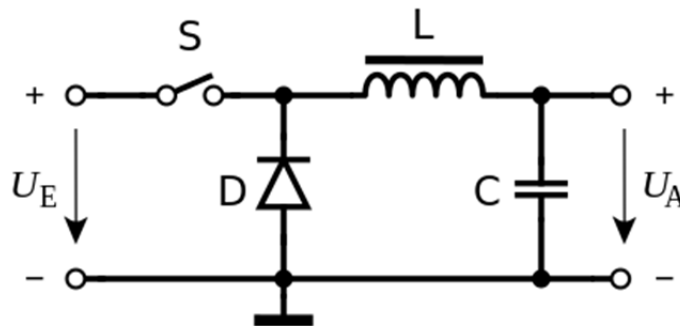


Abbildung 26: Tiefsetzsteller ⁶⁰

Funktion

Nachdem der Schalter für die Zeit T_E geschlossen wird, baut sich in der Spule ein Magnetfeld auf. Nach dem Öffnen (Öffnungszeit T_A) des Schalters treibt diese den Strom durch den Verbraucher und die Diode. Dieser Vorgang wird daraufhin wiederholt. Somit kann der Strom am Verbraucher mit der Tastfrequenz geregelt werden.

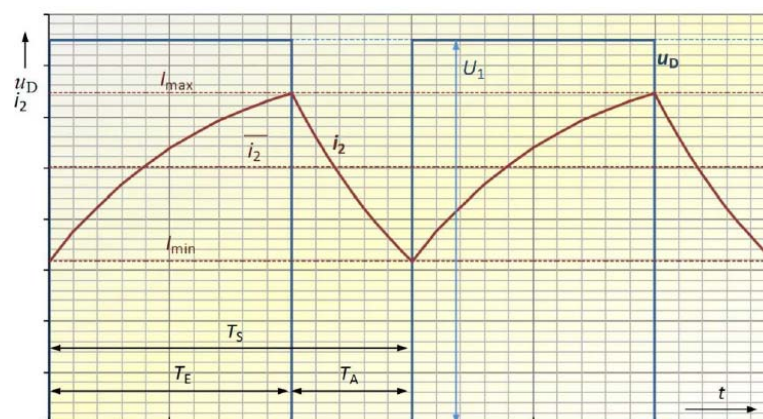


Abbildung 27: Ausgangssignal Tiefsetzsteller ⁶¹

⁶⁰ übernommen von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aufw%C3%A4rtswandler>.

⁶¹ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschnig.

Die obige Abbildung veranschaulicht diesen Vorgang. Der Strom steigt bei geschlossenem Schalter an und fällt wieder bei geöffnetem Schalter. Dadurch wird dieser auf einem nahezu gleichen Niveau gehalten. In der Praxis sollte eine verhältnismäßig konstante Spannung vorherrschen, damit der Wechselrichter effizient arbeiten kann. Dies wird mit zwei Kondensatoren C_1 und C_2 realisiert.

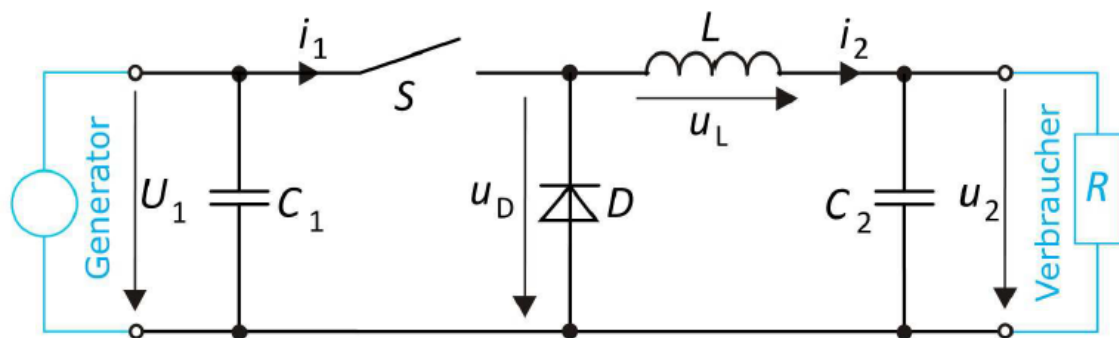


Abbildung 28: Schaltungsaufbau Tiefsetzsteller⁶²

Der Kondensator C_1 dient zum Zwischenspeichern der Energie des PV-Generators.

Der Ausgangskondensator dient zum Zwischenspeichern der Energie für den Verbraucher.

⁶² übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschnig.

Hochsetzsteller

Wenn die Ausgangsspannung am Verbraucher höher sein soll als die Generatorspannung, wird ein Hochsetzsteller verwendet. Der prinzipielle Aufbau des Hochsetzstellers entspricht dem des Tiefsetzstellers, nur dass Diode, Schalter und Spule vertauscht sind.

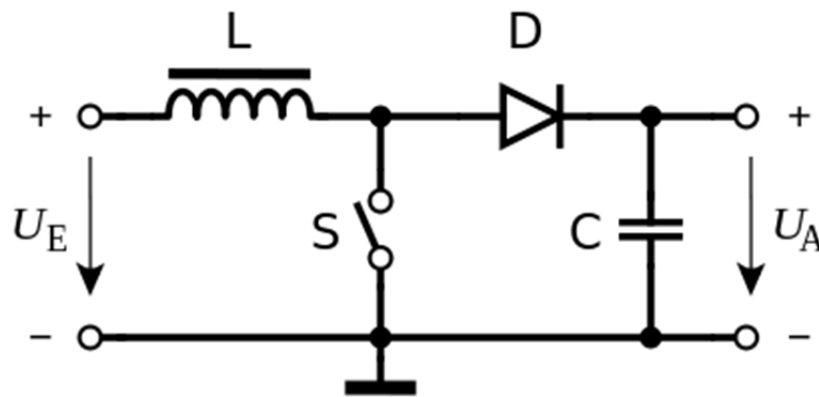


Abbildung 29: Hochsetzsteller ⁶³

Funktion

Wenn der Schalter S geschlossen ist baut sich bei der Spule L ein Magnetfeld auf, in dem die Spannung $U_L = U_1$ anliegt. Wird der Schalter S geöffnet, liegt am Verbraucher die addierte Spannung $U_2 = U_1 + U_L$, wenn ($U_L > 0$), an. C1 und C2 dienen wieder als Zwischenspeicher. Somit kann wieder mittels Schaltfrequenz die Ausgangsspannung gesteuert werden.

MPP-Tracker

Die erläuterten Spannungswandler dienen dazu, eine andere Spannung am Verbraucher als am PV-Generator zu erzeugen. Durch das Tastverhältnis kann der Arbeitspunkt variiert und somit die Energieausbeute erheblich gesteigert werden. Die größten Einflüsse auf die Spannung des PV-Generators haben die schwankende Modultemperatur und die Abschattung der Module. Der MPP-Tracker (Maximum Power Point -Tracker) hat die Aufgabe, diese Faktoren zu erfassen und den MPP nach diesen zu regeln. Für diese Regelung gibt es verschiedene Verfahren.

⁶³ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschnig.

- Sensorgesteuerte Regelung

Der MPP-Tracker regelt die Spannung mittels Temperatur und Strahlungssensor.

- Regelung mit Hilfe einer Referenzzelle

In der Nähe des PV- Generators (Modul) wird ein Referenzmodul aufgestellt, bei dem messtechnisch die Leerlaufspannung und der Kurzschlussstrom erfasst werden. Mit diesen Parametern wird der MPP eingestellt und der Tracker regelt die Spannung der Anlage nach.

Spannung und Strom werden am Ein- oder Ausgang des Spannungswandlers gemessen, die Leistung ermittelt und gespeichert. Durch geringe Veränderungen des Tastverhältnisses wird die Spannung verändert. Nach erneutem Erfassen der Daten wird ermittelt, ob sich die Leistung vergrößert bzw. verkleinert hat. Somit regelt der MPP-Tracker den Arbeitspunkt ständig nach.

Wechselrichter Fortsetzung

Um nun die geregelte Gleichspannung in eine brauchbare Wechselspannung transformieren zu können, wird ein Wechselrichter benötigt. Dieser wandelt uns die erzeugte und anschließend geregelte Gleichspannung in eine verwendbare Wechselspannung um. Durch Verwendung von Leistungselektronik kann dies realisiert werden. Hierbei ist vor allem die hohe Belastbarkeit der Bauteile zu beachten, die Spannungen deutlich über 1000V aushalten müssen. Typische Bauteile sind:

- Power- MOSFETs (Leistungs- Feldeffekt- Transistoren)
- bipolare Leistungstransistoren
- IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistoren)
- Thyristoren (steuerbare Dioden)
- Triacs (Zweirichtungsthyristoren)
- GTO-Thyristoren (Gate Turn- off, abschaltbare Thyristoren)

Der Wechselrichter muss den Strom periodisch von einem Zweig zu einem anderen überschalten. Diesen Vorgang bezeichnet man als kommutieren. Dazu müssen jeweils Thyristoren gezündet bzw. gelöscht werden. Die dazu notwendige Frequenz und Energie nimmt sich der netzgekoppelte Wechselrichter vom vorhandenen öffentlichen Netz. Dazu muss der Wechselrichter synchron mit dem Netz sein. Ist dieses nicht vorhanden, muss die Schaltenergie selbst aufgewendet und ein Netz selbst aufgebaut werden. Hierzu dienen eigene Inselwechselrichter, welche die dazu notwendige Elektronik besitzen.⁶⁴ Es gibt 3 Arten von Wechselrichtertechnologien:

- Rechteck- oder Trapezwechselrichter
- Treppenwechselrichter
- Pulsweitengesteuerter Wechselrichter und Resonanzwechselrichter

⁶⁴ in Anlehnung an: <http://www.photovoltaiik-guide.de/wechselrichtertypen>.

Außerdem wird noch zwischen Inselwechselrichtern und netzgekoppelten Wechselrichtern unterschieden. Bei netzgekoppelten Wechselrichtern sind festgelegte Parameter zu beachten, wie die Qualität der Amplitude, die Frequenz und der Stromverlauf. Weiters sind Schutzauflagen, wie die sofortige Abschaltung im Falle eines Netzausfalles, zu beachten.

Rechteckwechselrichter

Dies ist eine vom Prinzip sehr einfache Wechselrichterschaltung. Die Schaltung (B2- Schaltung) besteht aus 4 Ventilen, die meist als Thyristoren ausgeführt sind.

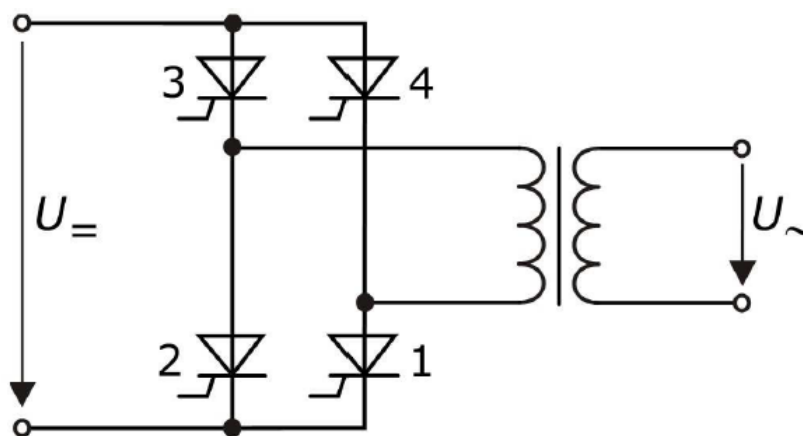
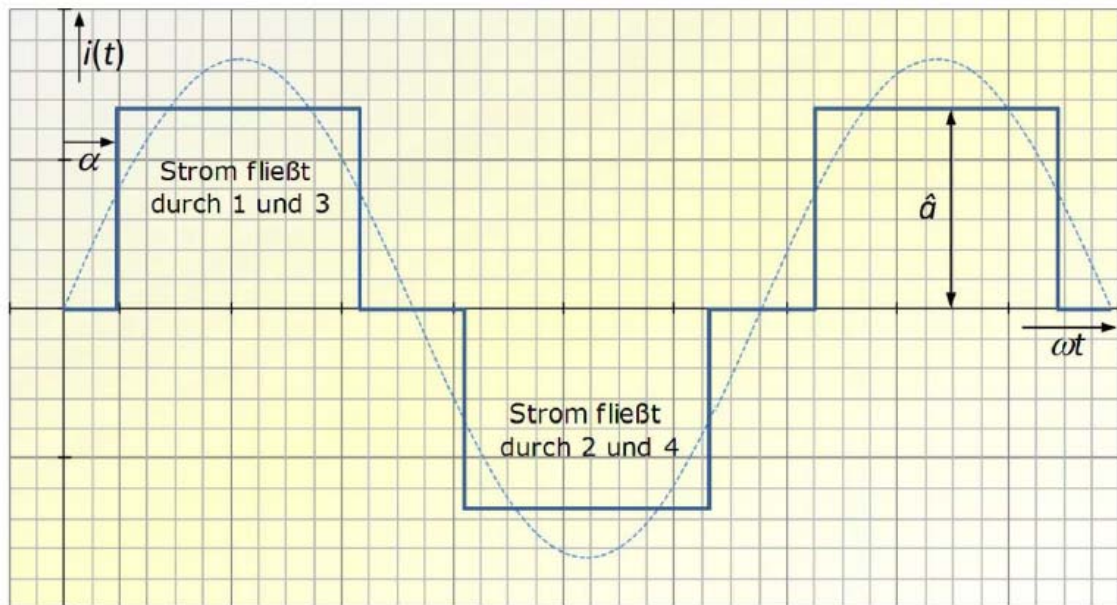


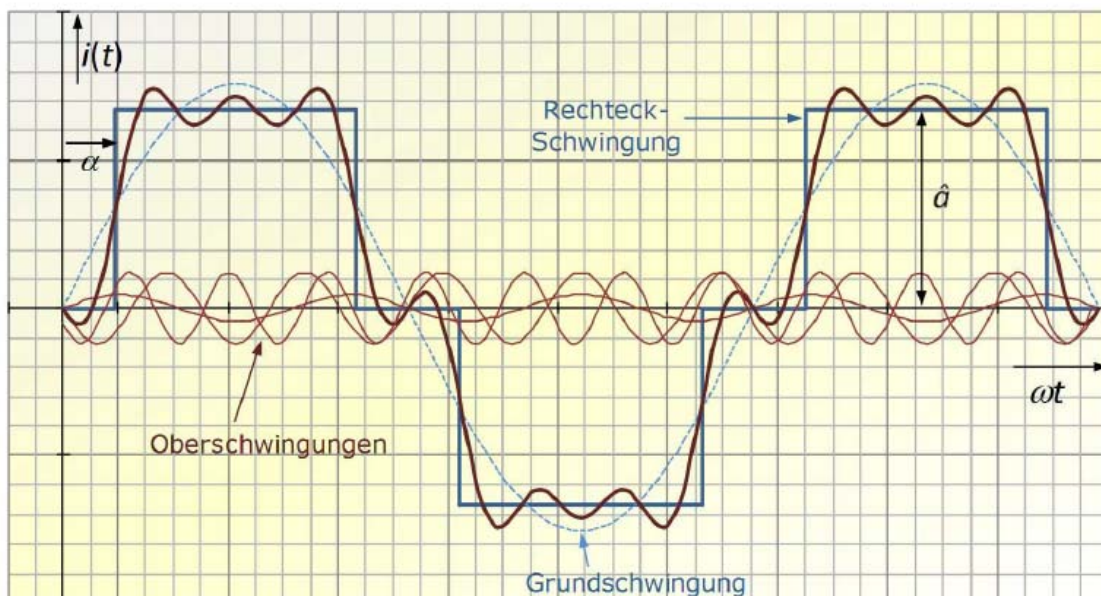
Abbildung 30: Rechteckwechselrichter ⁶⁵

Die Thyristoren werden direkt mit dem öffentlichen (starren) Netz verbunden und abwechselnd geschaltet.

⁶⁵ übernommen von: http://www.lti.kit.edu/rd_download/Solarenergie_08014_Photo.pdf.

Abbildung 31: Ausgangsspannung Wechselrichter ⁶⁶

Der in der obigen Abbildung veranschaulichte Verlauf des Stroms weicht stark vom gewünschten sinusförmigen Verlauf ab. Mit Hilfe der Fourier- Analyse lässt sich die Sinus- Schwingung in eine konvergente Reihe zerlegen. Dabei treten sogenannte Oberschwingungen auf.

Abbildung 32: Ausgangsspannung Fourier zerlegt ⁶⁷

⁶⁶ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 227, Volker Quaschnig.

⁶⁷ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 227, Volker Quaschnig.

In der obigen Abbildung sind die Oberschwingungen (dünne braune Linien) und die aus diesen addierte Schwingung (dicke braune Linie) dargestellt. Man sieht, dass die Summe der Oberschwingungen eine Rechteckspannung angenähert darstellt. Die maximalen Oberschwingungen, welche im öffentlichen Netz auftreten dürfen, sind vom Gesetzgeber geregelt. Treten mehrere Oberschwingungen gleichzeitig auf, wird deren Wirkung durch den Gesamtverzerrungsfaktor beschrieben. Der Klirrfaktor k ist ein weiterer Gütefaktor, welcher sich aus dem Verhältnis der Oberschwingung zur Grund- und Oberschwingung zusammensetzt. In Wechselrichtern werden oft Transformatoren integriert, damit eine Trennung zwischen öffentlichem Netz und Wechselrichter vorherrscht. Außerdem kann eine Spannungsanpassung zum Netz durchgeführt werden. Ein Nachteil ist jedoch der eintretende Leistungsverlust des Transformators.

Die beschriebene B2- Schaltung speist den Wechselrichterstrom nur in einen Außenleiter ein. Bei dem öffentlichen Drehstromnetz mit 3 Außenleitern kann dies zu Asymmetrien führen. Bei einer eingespeisten Leistung $> 5 \text{ kWp}$ muss eine Drehstromeinspeisung stattfinden. Dies wird meist mit einer B6- Brückenschaltung verwirklicht.

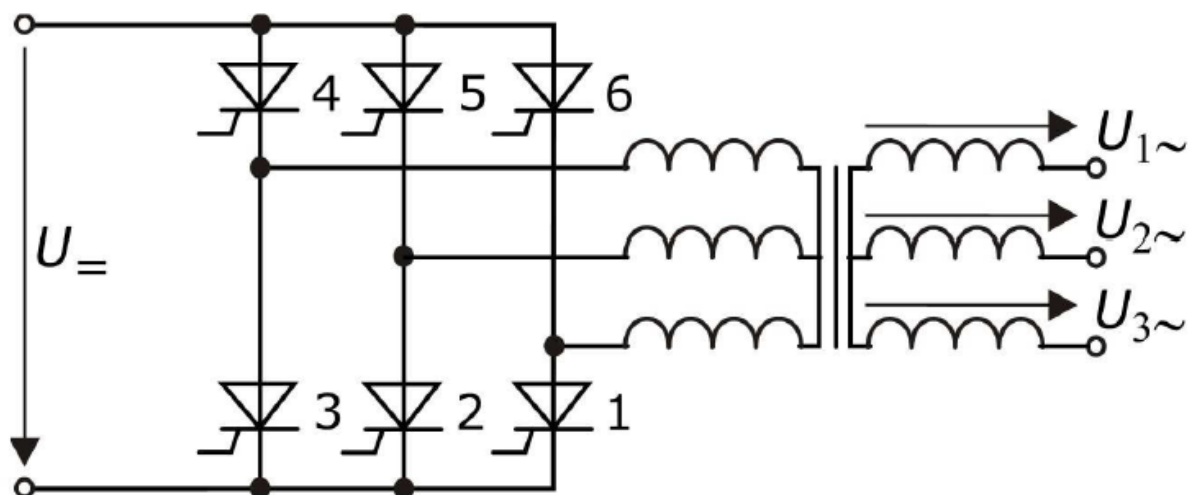


Abbildung 33: Wechselrichterschaltung B6 ⁶⁸

Hierbei werden die Thyristoren zyklisch, zu einer drittel verschobenen Periode, geschaltet.

⁶⁸ übernommen von: http://www.lti.kit.edu/rd_download/Solarenergie_08015_Photo.pdf.

PV-Wechselrichter

Der einzige Unterschied zwischen einem Photovoltaik- Wechselrichter und einem Wechselrichter für andere Anwendungen liegt in der optimalen Einstellung des Arbeitspunktes. Hierzu wird der oben beschriebene MPP-Tracker verwendet, welcher in diesem Wechselrichter bereits kombiniert ist. Bei Photovoltaik-Anlagen mit netzgekoppelten Wechselrichtern kommen prinzipiell zwei verschiedene Prinzipien in Frage:

- Zentralwechselrichter
- Modulwechselrichter

Zentralwechselrichter

Bei diesem Prinzip werden alle Module auf einen einzigen Strang zum Wechselrichter geführt, um die gewünschte Höhe der Gleichspannung zu erreichen. Bei größeren Leistungen werden Strangdioden bei den einzelnen, gleich großen Strängen eingesetzt. Dies entfällt aber in vielen Fällen, da ihre Schutzwirkung wegen der Durchlassverluste eher gering ist.

Zentralwechselrichter Master-Slave

Im Prinzip funktioniert dieses Prinzip gleich wie das bereits angeführte. Hierbei wird allerdings nicht nur ein einziger Wechselrichter verwendet, sondern mehrere kleinere, welche die Leistung bei Teilabschattung erhöhen sollen.

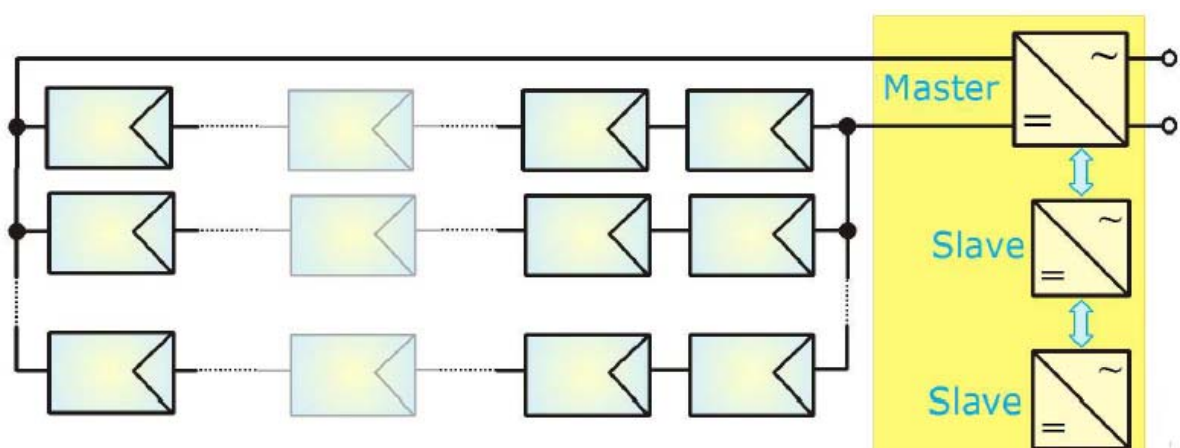


Abbildung 34: Master-Slave Prinzip⁶⁹

⁶⁹ übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 232, Volker Quaschnig.

Modulwechselrichter:

Die optimale Lösung bei Teilabschattung sind Modulwechselrichter. Diese können jeweils an einem bzw. an einer kleinen Anzahl von Modulen angeschlossen werden, um den Teilabschattungsverlust zu minimieren. Ein weiterer Vorteil ist der Verzicht auf die Gleichstromleitungen, welche bei herkömmlichen Anlagen einen besonders großen Leiterquerschnitt benötigen. Nachteile sind jedoch der niedrigere Wechselrichterwirkungsgrad und die Mehrkosten.

3.2.3 Standort

Übersichtsplan

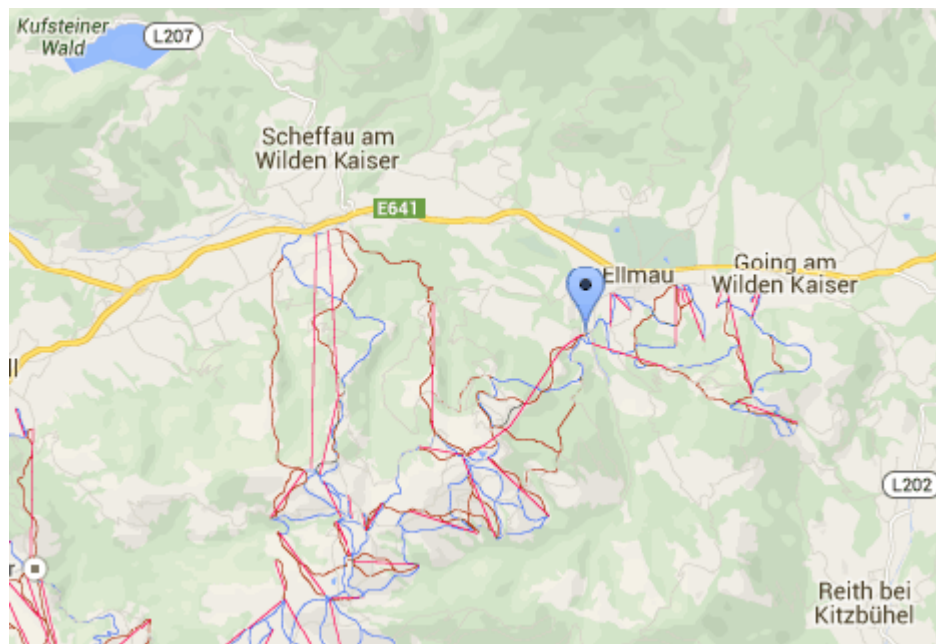


Abbildung 35: Lage Bergbahn Ellmau ⁷⁰

Die Talstation der Hartkaiserbahn liegt im Weißachgraben 5. Die Ausrichtung der Photovoltaikanlage soll Ost-West mit 10° Aufständigung betragen.

Zu beachten wird der Schneedruck bzw. die Schneedrücke in diesem Winter-skigebiet sein.

Aufgrund der großen Neuschneemengen auf der flachen Aufstellung und der vorhandenen Attika von 25 cm könnte es passieren, dass die PV-Anlage über die Wintermonate zu einem großen Teil nicht schneefrei sein wird. Hierzu müssten wir den Ertrag für zumindest Mitte Dezember bis Ende Februar gegen Null setzen. Wir werden dies in den Berechnungen mit einfließen lassen.

⁷⁰ übernommen von: <https://www.google.at/maps/place/Ellmau/@47.5192499,12.286135,12z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x4776496bb58711ff:0x4ef37e24bcba7f>.

Klimatechnische Daten:

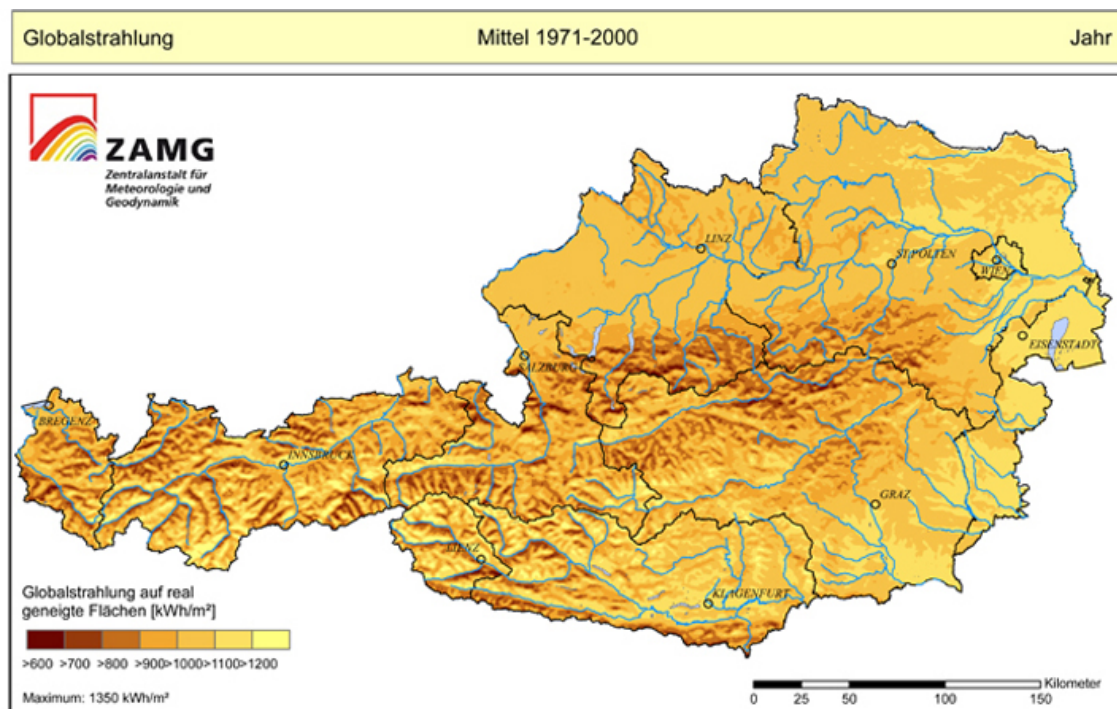


Abbildung 36: Globalstrahlung (Mittel 1971-2000).⁷¹

Unter der globalen Strahlung (Globalstrahlung) versteht man die gesamte auf eine horizontale Empfangsfläche auftreffende Solar-Strahlung. Diese setzt sich aus direkter Strahlung und indirekter Strahlung (über Streuung an Wolken, Staub- oder Wasserteilchen) zusammen. Die Einheit der gemessenen Bestrahlungsstärke ist Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Durch die Summe der eingestrahltten Energie über gewisse Zeiträume, in unserem Falle pro Jahr, ergibt sich der Energieertrag in $\text{kWh/m}^2\text{a}$. In Ellmau, am Standort Hartkaiserbahn, ist der Faktor mit $1.069,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im guten Mittelfeld. Vergleichbar wird der Österreichdurchschnitt mit ca. $1.100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, der Durchschnitt von Deutschland mit $900\text{-}1.200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und der von Spanien mit $2.000 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ eingestuft.⁷²

⁷¹ übernommen von: ZAMG.

⁷² übernommen von: http://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/photovoltaik_grundlagen/wie_viel_energie_bekommen_wir_aus_der_sonnenstrahlung.html.

Klimadaten	
Standort	6352 Ellmau
Breitengrad	47,50782
Längengrad	12,29319
Meereshöhe	826
Klimadatensatz:	Ellmau (1986-2005)
PV – Leistung	150,0 kWp
PV-Brutto- / Bezugsfläche:	984,00 m ²
Einstrahlung (horizontale Fläche)	1069,0 kWh/m ² a
Systemnutzungsgrad:	12,1%
Gesamtwirkungsgrad	14,63%
Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad)	80,6%
Spezifischer Jahresertrag:	972,9 kWh/kWp
Anzahl der Module	600
Wechselrichterdaten: Wirkungsgrad:	96%

Tabelle 8: Klimatechnische Daten Ellmau ⁷³

Die Klimadaten werden für zahlreiche Orte der Welt in unterschiedlichen Klimadaten und Klimazonen zur Verfügung gestellt. Diese Werte beruhen nicht direkt auf aktuellen Messgrößen sondern sind vielmehr langfristig ausgerichtet. In unserem Fall verwenden wir den Klimadatensatz von 1986 bis 2005. Diese Daten sind rechnerische Mittelwerte aus dreißig Jahreszeiträumen und das Wetter kann in gewissen Regionen drastisch davon abweichen. Wie aus der Tabelle 8 entnommen werden kann, finden sich alle relevanten Klimadaten, die für die Auslegung und Berechnung einer Photovoltaik-Anlage notwendig sind.

⁷³ übernommen von: Klimadatensatz Ellmau, ZAMG.

3.2.4 Bauliche Umsetzung



Abbildung 37: Talstationsgebäude Bergbahn Ellmau ⁷⁴

Das sich derzeit im Bau befindliche neue Talstationsgebäude mit Büroflächen, Restaurant, Mitarbeiterwohnungen, Aufenthaltsräumen, Ski Depot sowie Verkaufs- und Kassenflächen schafft die Grundvoraussetzung für die Möglichkeit eine Photovoltaikanlage zu errichten. Die für dieses Projekt vorgesehene Dachfläche beträgt ca. 1000 m².

Bauliche Details	
Dachhöhe	11 m
Dachneigung	2°
Eindeckung	Kies
Aufständertyp	Duoflat
Meereshöhe	826
Schneelastzone	Zone 3 (3,54kN/m ²)
Ausrichtung in Grad	180°
Windlast	0,81
Windgeschwindigkeit	25,1 m/sec
Attikahöhe und Breite	250mm

Tabelle 9: Bauliche Details ⁷⁵

⁷⁴ eigene Zusammenstellung: 3D Talstation Bergbahnen Ellmau-Going.

⁷⁵ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

Anordnung und Aufstellung

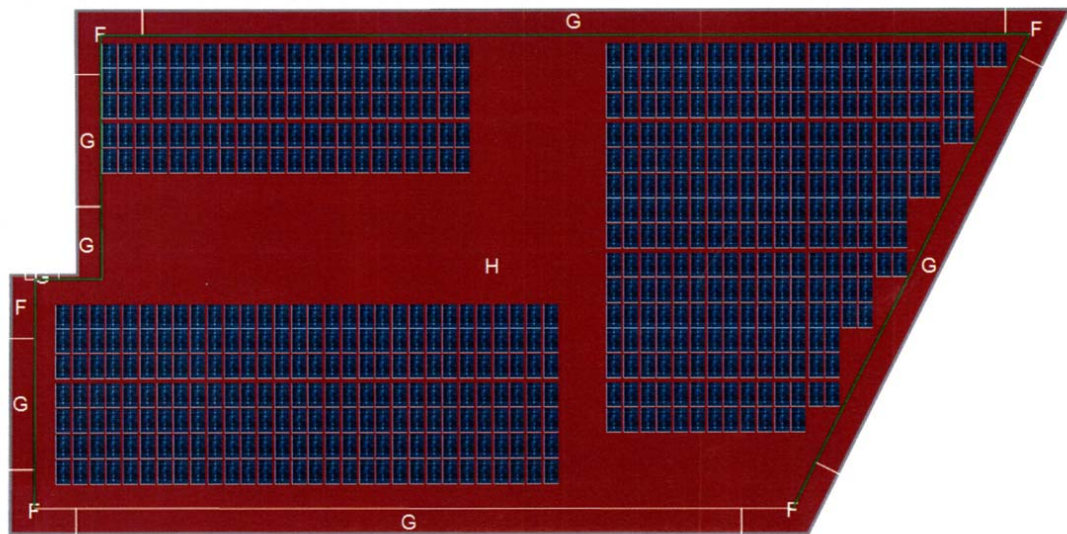


Abbildung 38: Anordnung PV Module in verschiedene Zonen ⁷⁶

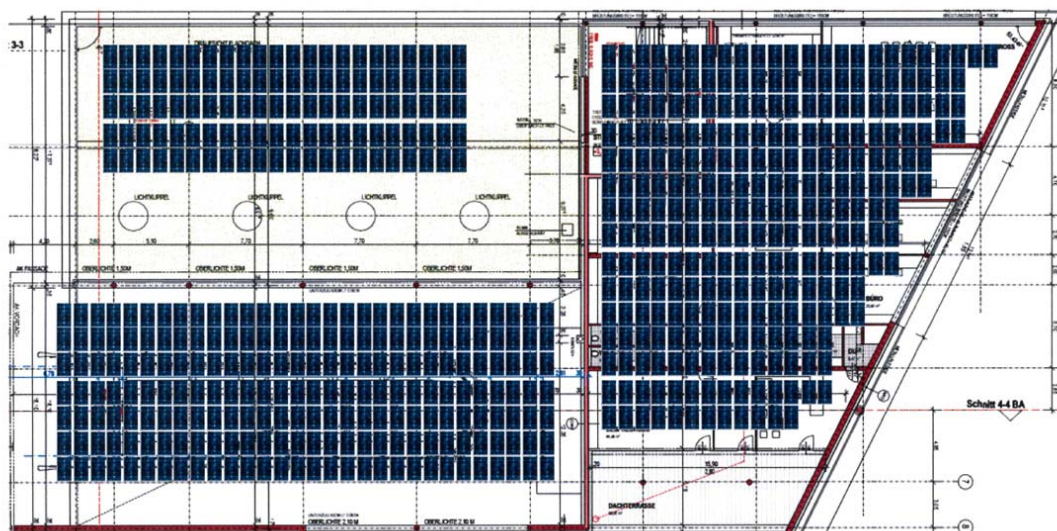


Abbildung 39: Detailplan - Ebenen PV Module ⁷⁷

Die Photovoltaikanlage wird auf zwei Ebenen installiert. Die erste Ebene ist abgesetzt und befindet sich im hinteren linken Teil der Ansicht. Auffallend ist, dass der Abstand zum höherliegenden Gebäude wegen möglicher Verschattung sehr groß gewählt wurde. Auf der zweiten Ebene befindet sich nur eine Attika mit 25 cm Seitenhöhe. Dies ermöglicht eine relativ komfortable Aufstellung. Die Eindeckung des Daches erfolgt mit Kies.

⁷⁶ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

⁷⁷ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going Montagemöglichkeit.

3.2.5 Technische Umsetzung

Wechselrichter Blockschaltbild

Im Blockschaltbild wird Schematisch die Anlage dargestellt.

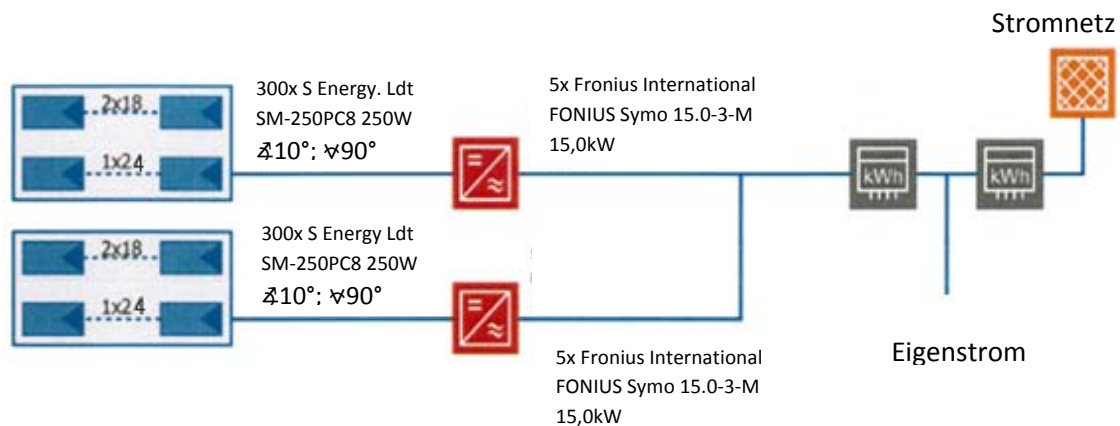


Abbildung 40: Anlagenaufbau ⁷⁸

In Abbildung 45 kann man den schematischen Aufbau der PV-Anlage erkennen. Generatorseitig befinden sich 600 Solarmodule vom Hersteller S-Energy mit je 250 Watt. Diese sind in 30 Strings verschaltet, die wiederum seriell mit 18 bzw. 24 Modulen in Serie betrieben werden. Es werden in Summe 10 Drehstromwechselrichter der Firma Fronius mit je 15,0 kW verwendet. Der Wechselrichter wandelt die erzeugte Gleichspannung in Wechselspannung mit netzkonformen 50 Herz um. Es müssen ein Zähler für die Ermittlung des selbst erzeugten Stromes, sowie ein 4-Quadranten Zähler für die eingespeiste bzw. bezogene Menge Strom verwendet werden.

Für die verwendeten Module deren technische Daten in der Tabelle 10 aufgelistet sind, gibt der Hersteller an einen linearen Abfall der Leistung auf maximal 80% der Nennleistung nach 25 Jahren an. Neueste zertifizierte Produktionsstandards, zehn Jahre Garantie sowie die Produktion in Europa runden das Spektrum ab. Der spezifische Jahresertrag der Anlage wird auf 151.416 kWh beziffert.

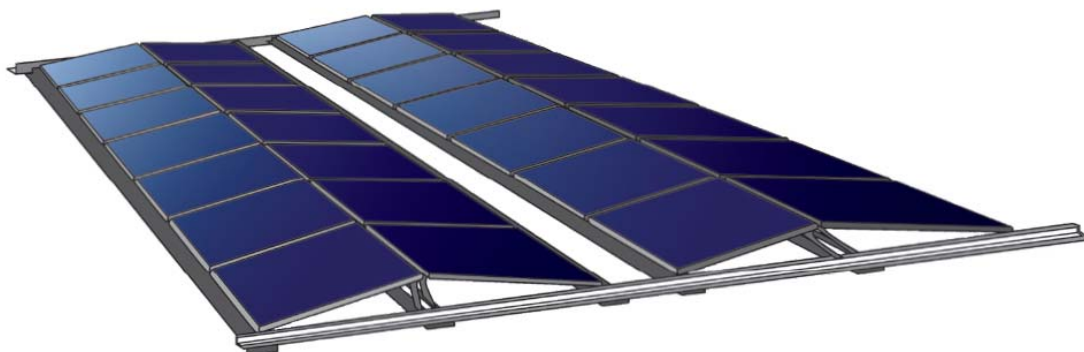
⁷⁸ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

Moduldaten	Type
Hersteller	S-Energy Co. Ltd.
PV Modul	BenQ Green Triplex PM245P00_250 poly(886)
Breite x Höhe x Dicke	999x1665x50 mm
Rahmen	Aluminium
Gewicht	20 kg
Leistung	250 Watt
Zellentype	Polycrystalline
Klemmung	An beiden Seiten
Ausgangsspannung MPP	30,8 V
Ausgangsstrom	8,14 A
Kurzschlussstrom	8,67 A
Leerlaufspannung	37,5 V

Tabelle 10: Spezifikation der verwendeten Module ⁷⁹

Verwendete Aufständering

Die Aufständering muss einfach zu montieren, windsicher und für Schneelastzone 3 geeignet sein. Weiters ist das Gesamtgewicht bezüglich der Statik zu beachten. Die Aufständering soll Ost – West erfolgen und 10 Grad geneigt sein. Die Verlegung der Kabel erfolgt im Rohrsystem, das heißt, dass auch keine äußeren mechanischen Defekte oder Schäden durch Nagetiere eintreten können.

Abbildung 41: Montagemöglichkeit Aufdachsystem ⁸⁰

⁷⁹ übernommen von: <http://www.sol-distribution.com.au/BenQ/BenQ-Green-Triplex-Poly-Data-Sheet.pdf>.

⁸⁰ übernommen von: <http://palme-solar.de/duoflat/>.

Aufgrund der Flächenbelastung von $0,15 \text{ kN/m}^2$ (15kg) sind keine baulichen Veränderungen notwendig. Die resultierenden Flächenbelastungen belaufen sich im Bereich F (Abbildung 38) auf max. Sog auf $2,295 \text{ kN/m}^2$ im Bereich G (Abbildung 38) auf max. Sog $0,959$ und im Bereich H (Abbildung 38) auf max. Sog von $0,716$. Der maximale Druck ist immer bei $5,509 \text{ kN/m}^2$.

DuoFlat Aufdachsystem
Stützwinkel alpha in Grad: 10 Abstand zwischen den Aufständerungsreihen in mm: 50
Geeignet für Schneelastzone 3
Geprüft nach DIN 1055-4 und DIN 1055-5
Zulassung bis Windlastzone 4 mit geringen Auflasten
Die eingesetzten Bautenschutzmatte sind für alle Folien und Bitumendächer geeignet
ca. 30% mehr Leistung auf Ihrem Dach
10° Aufständerung nach Ost West
Max. Auflast mit Modulen bei einem Reihenabstand von 40 cm sind 15kg
Windlast: 0,78 Windgeschwindigkeit m/sec 25
Aufstellung: 10 Grad OST und WEST
kleine zusätzliche Auflast geringe Bauhöhe optimaler Wasserablauf aerodynamisch und statisch geprüft inkl. Bautenschutzmatte mit Weichmachersperre integrierter Kabelkanal

Tabelle 11: DuoFlat Aufdachsystem ⁸¹

⁸¹ übernommen von: <https://superexpo.com/palme-solar-gmbh&pid=8198>.

Prognostizierte Leistung Talstation

Der Energiebedarf der neuen Talstation wird sich ungefähr um den Faktor 2,55 erhöhen.

Für unsere Annahmen wurden große Stromverbraucher, die meistens auch nur im Winter verwendet werden, auf den Wert Null gesetzt. Dazu gehören vor allem die Schneeanlage, die Außen- und Auffahrtsheizungen und die im Sommer nicht benützten Personalzimmer. Der Gleichzeitigkeitswert des Gastlokales wurde von 0,7 auf 0,5 reduziert. Unsere Annahme ist, dass weniger Betrieb als im dem Winter sein wird.

Leistungsaufstellung Elektrotechnik				
	Talstation Hartkaiserbahn			
Pos.	Betriebsmittel	Leistung ohne Glfz.	Glfz.	Leistung mit Glfz.
		KW		KW
1	Lifttechnik Fa.Doppelmayer	56,0	0,9	50,40
2	Bahnhof (Haustechnik)	16,0	0,9	14,40
3	Rolltreppe	9,2	0,5	4,60
4	3x Aufzug 5KW	15,0	0,7	10,50
5	Halle	12,0	0,6	7,20
6	Büro	24,0	0,6	14,40
7	16x Zimmer a 1KW	0,0	0,6	0,00
8	Gastlokal	110,0	0,5	55,00
9	23x Heizstrahler Terrasse Lokal a 2KW	0,0	0,7	0,00
10	Sportgeschäft	145,0	0,5	72,50
11	Lüftung	52,0	0,8	41,60
12	Heizung	8,0	0,6	4,80
13	Parkdeck/ Rampenheizung	0,0	0,8	0,00
14	Haustechnik	15,0	0,5	7,50
15	Diverses	50,0	0,5	25,00
16	Beschneigung	0	0,9	0
17	Mittelstation	50	0,7	35
	Leistungen (kW)	562,2		342,90
			Glfz.ges.	0,7
	Gesamtleistung (kW)	Leistung mit Glfz.		240,03

Tabelle 12: Leistungsaufstellung Elektrotechnik ⁸²

In der Leistungsaufstellung werden alle großen Verbraucher aufgelistet und mit dem sogenannten Gleichzeitigkeitsfaktor (Glfz.) multipliziert. Es wird mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt, dass nie alle Elektrogeräte des Gebäudes gleichzeitig und mit voller Leistung eingeschaltet sind. Hierbei werden Erfahrungswerte und der organisatorische Ablauf im Gebäude berücksichtigt.

⁸² eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

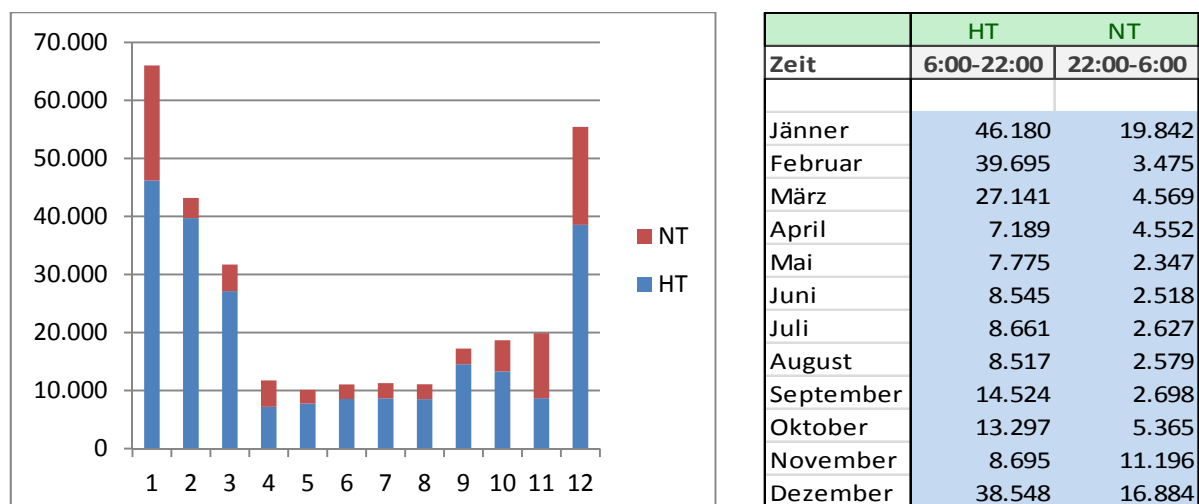
3.2.6 Wirtschaftliche Betrachtung inkl. Finanzierung

Stromverbrauchsanalyse

Zählernummer: J)692157WA								
Stromdaten aus Lastprofil TIWAG 2014								
Energiebedarf 2014		Durchschnitt / Tag in Kwh			Monat in Kwh			Stromkosten
		HT	NT	Summe	HT	NT	Summer	Summe
		6:00-22:00	22:00-6:00	24h	6:00-22:00	22:00-6:00	24h	€ 0,1287
Jänner	KWh	1.489,7	640,1	2.129,7	46.180	19.842	66.022	€ 8.497,03
Februar	KWh	1.417,7	124,1	1.541,8	39.695	3.475	43.170	€ 5.555,98
März	KWh	875,5	147,4	1.022,9	27.141	4.569	31.710	€ 4.081,08
April	KWh	239,6	151,7	391,4	7.189	4.552	11.741	€ 1.511,07
Mai	KWh	250,8	75,7	326,5	7.775	2.347	10.122	€ 1.302,70
Juni	KWh	284,8	83,9	368,8	8.545	2.518	11.063	€ 1.423,81
Juli	KWh	279,4	84,7	364,1	8.661	2.627	11.288	€ 1.452,77
August	KWh	274,7	83,2	357,9	8.517	2.579	11.096	€ 1.428,06
September	KWh	484,1	89,9	574,1	14.524	2.698	17.222	€ 2.216,47
Oktober	KWh	428,9	173,1	602,0	13.297	5.365	18.662	€ 2.401,80
November	KWh	289,8	373,2	663,0	8.695	11.196	19.891	€ 2.559,97
Dezember	KWh	1.243,5	544,6	1.788,1	38.548	16.884	55.432	€ 7.134,10
Jahr	KWh				228.767	78.652	307.419	€ 39.564,83

Tabelle 13: Stromverbrauch 2014 (Jahresverbrauch) ⁸³

Die Stromverbrauchsanalyse wurde anhand der vorliegenden Daten aus dem Jahre 2014 erstellt und analysiert. Deutlich zu erkennen sind die Spitzen in den

Tabelle 14: Strombedarf Hoch und Niedertarif 2014 ⁸⁴

Wintermonaten die vor allem auf die Schneeanlage zurückzuführen sind. Klar zu erkennen ist auch der Zeitliche Verbrauch hier übersichtlich dargestellt in Hochtarif (HA 6:00 – 22:00 Uhr) und Niedertarif (NT 22:00 – 6:00 Uhr).

⁸³ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

⁸⁴ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

Der Hochgerechnete Strombedarf für die neue Talstation sie wie folgt aus:

Energiebedarf 2016		Durchschnitt / Tag in Kwh			Monat in Kwh			Stromkosten
geschätzt aus Bedarf		HT	NT	Summe	HT	NT	Summer	Summe
		6:00-22:00	22:00-6:00	24h	6:00-22:00	22:00-6:00	24h	€ 0,1287
Jänner	KWh	3.798,7	1.632,2	5.430,8	117.759	50.597	168.356	€ 21.667,43
Februar	KWh	3.615,1	316,5	3.931,6	101.222	8.861	110.084	€ 14.167,75
März	KWh	2.232,6	375,8	2.608,4	69.210	11.651	80.861	€ 10.406,75
April	KWh	611,1	386,9	998,0	18.332	11.608	29.940	€ 3.853,22
Mai	KWh	639,6	193,1	832,6	19.826	5.985	25.811	€ 3.321,89
Juni	KWh	726,3	214,0	940,4	21.790	6.421	28.211	€ 3.630,71
Juli	KWh	712,4	216,1	928,5	22.086	6.699	28.784	€ 3.704,55
August	KWh	700,6	212,1	912,7	21.718	6.576	28.295	€ 3.641,54
September	KWh	1.234,5	229,3	1.463,9	37.036	6.880	43.916	€ 5.652,00
Oktober	KWh	1.093,8	441,3	1.535,1	33.907	13.681	47.588	€ 6.124,59
November	KWh	739,1	951,7	1.690,7	22.172	28.550	50.722	€ 6.527,93
Dezember	KWh	3.170,9	1.388,8	4.559,7	98.297	43.054	141.352	€ 18.191,95
Jahr	KWh				583.356	200.563	783.918	€ 100.890,30

Tabelle 15: Stromverbrauch 2016 Jahresverbrauch hochgerechnet ⁸⁵

Wie schon erwähnt gehen wir von einem um 2,55fach höheren Strombedarf pro Jahr aus. Auch der Strombedarf in den Wintermonaten wird steigen, da die Schneeanlage ebenfalls erweitert wird. Jedoch ist der Faktor 2,55 in den Monaten Dezember, Jänner und Februar etwas zu hoch gegriffen. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Berechnung, da wir diese Monate bei der zweiten Berechnung ausklammern werden. Diese Hochrechnung wird die Basis für die neu zu errichtende Photovoltaik-Anlage sein.

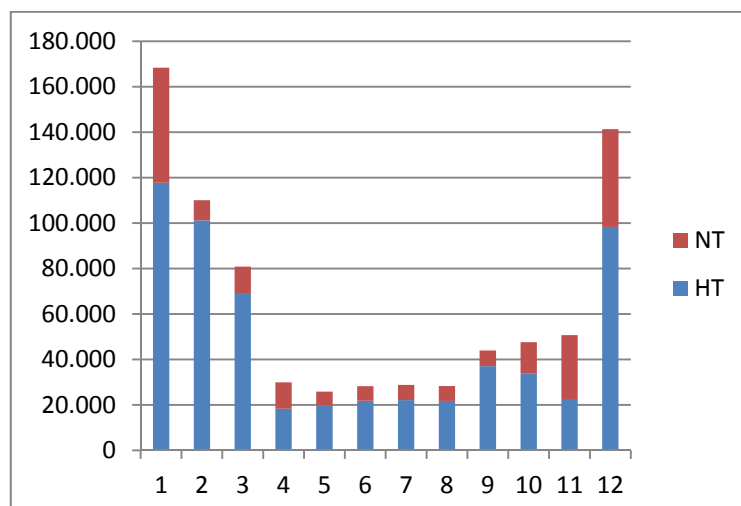


Tabelle 16: Strombedarf 2016 ⁸⁶

⁸⁵ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

⁸⁶ eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going.

Finanzierungsart

In unserem Fall kommt nur eine Fremdfinanzierung in Frage. Grund dafür ist, dass in diesem Jahr eine Finanzierung aus Eigenmitteln nicht in Betracht gezogen werden kann, da aufgrund der Gesamtinvestitionssumme von ca. 23 Millionen Euro (für Seilbahnbau und Gebäude) derzeit schon ein Teil aus Fremdfinanzierung bestritten wird.

Als Basis der Finanzierung und Ertragsrechnung werden wir die oben beschriebene Photovoltaikanlage mit 150kWh/p berechnen. Die realen Investitionskosten werden mit 1.200 Euro pro kW/p angenommen. Das sind in unserem Falle 180.000 Euro inkl. Aufständerung und Installation bis hin zu allen behördlichen Genehmigungsverfahren, Einreichungen und Abnahmen. Jedoch müsste in dieser Größenordnung bei den Investitionskosten nach Verhandlungen noch Rabatte bzw. Skonto möglich sein.

Investitionskosten:			
Spezifische Kosten pro kWp:	1.200	[€/kWp]	
Eigenkapitalquote / Zinsen Fremdkapital:	0%		2,50%
Kreditlaufzeit / Tilgungsfreie Jahre:	15 Jahre		
Gesamtkosten der Anlage:	180.000	[€]	
- Investförderung des Landes & Bundes (KLIEN):	-	[€]	
- sonstige Förderung (z.B.: Gemeinde):	-	[€]	
Investitionskosten:	180.000	[€]	EK [€]: 0

Laufende Kosten:			
Wechselrichteraustausch in 25 Jahren:	einmal	10.000	[€/Austausch]
Laufende Kosten (Wartung, Versicherung):		0,30	[%]
Ertragsminderung (Degradation) pro Jahr:		0,50	[%]

Entwicklung:			
Inflationsrate/Jahr:		2,0	[%]
Aktueller Strompreis:		0,129	[€/kWh]
Aktuelle Vergütung für Einspeiser (EVU):		0,068	[€/kWh]
Strompreissteigerung/Jahr:		2,0	[%]
Kalkulationszinssatz:		2,0	[%]

Abbildung 42: Rahmenbedingungen der Finanzierung ⁸⁷

In den Berechnungen werden sowohl laufende Kosten wie z.B. Wartung, Versicherung, Ertragsminderung und Wechselrichtertausch als auch Entwicklungskosten wie Inflation oder Strompreissteigerungen bzw. Vergütung für Einspeisetarife mit aufgenommen.

⁸⁷ eigene Zusammenstellung: Berechnungstool der Österreichischen Energieagentur.

Ertragsrechnung 1 Standardberechnung

Eine Finanzierung auf Basis von 150 kWh/p und durchschnittlicher Sonneneinstrahlungsdauer sowie unten stehender Parameter stellt sich wie folgt dar:

- ohne Abzüge aufgrund von Schnee-Verschattungen in den 3 Wintermonaten
- ohne Förderungen von OeMAG, Bund oder Land
- 100% Fremdfinanzierung

Bei 25 jähriger Lebensdauer der Anlage wird bei einer Kreditlaufzeit von 15 Jahren eine Amortisationsdauer von 5 Jahren ermittelt. Die Mehreinnahmen belaufen sich nach 25 Jahren auf 164.516 Euro.

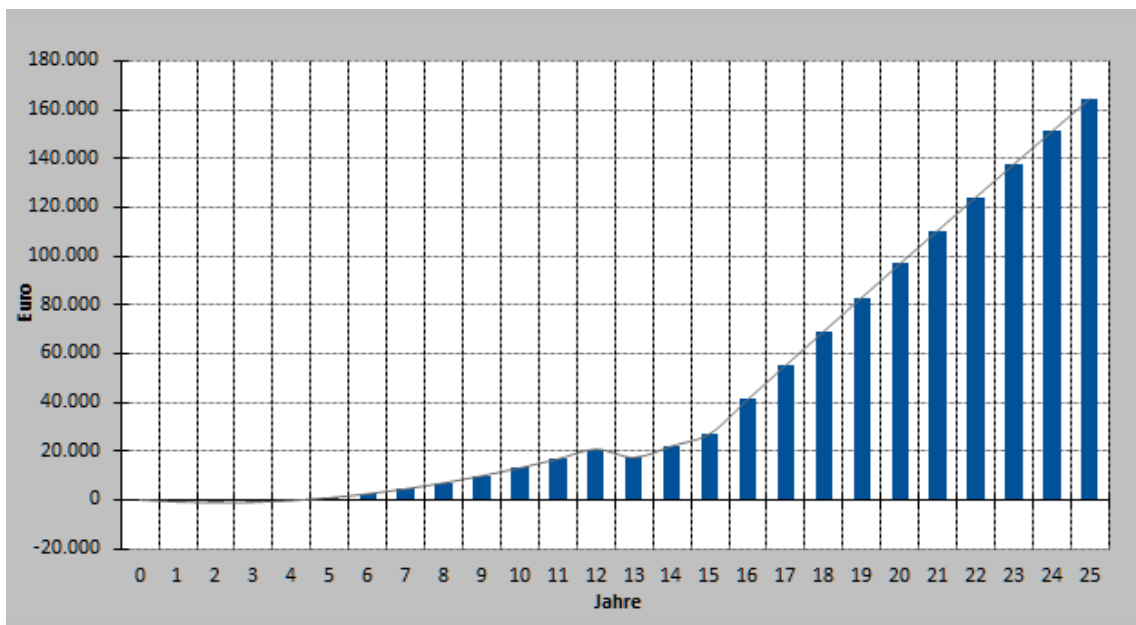


Abbildung 43: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 1) ⁸⁸

Sollte sich der Eigenstromanteil von 85% auf 90% erhöhen, sinkt bei gleichbleibender Finanzierung die Amortisationsdauer auf 3 Jahre. Wie wir aus unserer Strombedarfsanalyse ablesen können, sollte sich der Eigenstromanteil realistisch gesehen über 90% bewegen. Nur die Zwischensaison kann diesen Wert noch nach oben oder unten korrigieren.

⁸⁸ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

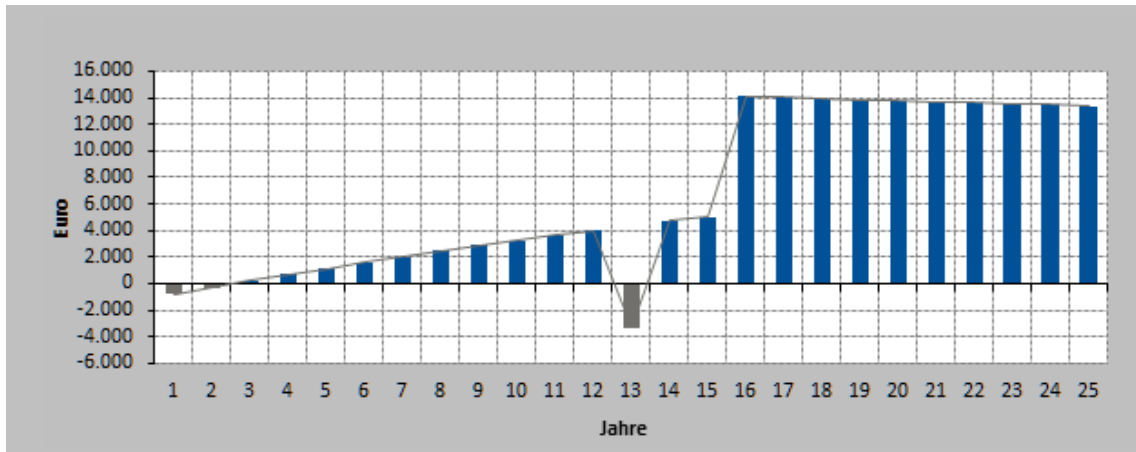


Abbildung 44: jährliche Barwerte (Variante 1) ⁸⁹

In der Abbildung 44 werden die jährlichen Barwerte aufgelistet. Die Barwerte sind die Einnahmen, die dem Unternehmen aus dieser Investition zur Verfügung stehen.

Gut zu erkennen ist im dreizehnten Jahr der Tausch der Wechselrichter. Dieser Betrag wurde mit 10.00 Euro angenommen.

Ertragsrechnung 2 mit Verschattung ohne Förderung

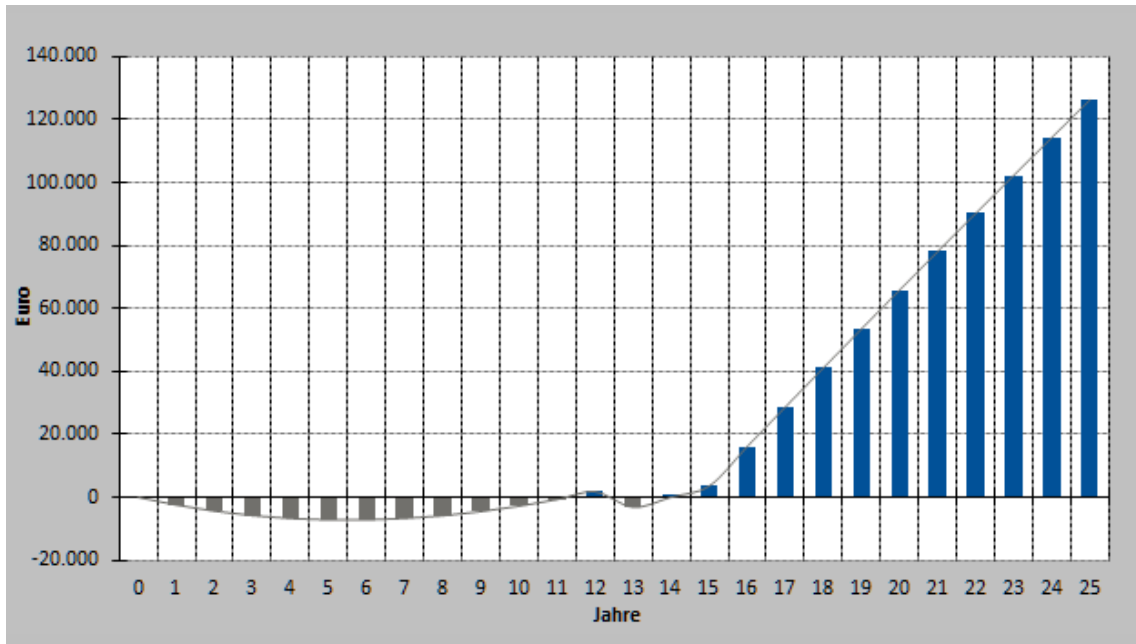
Eine Finanzierung auf Basis von 150 kWh/p und durchschnittlicher Sonneneinstrahlungsdauer sowie unten stehender Parameter stellt sich wie folgt dar:

- mit Abzügen aufgrund von Schnee-Verschattungen in der Zeit von 15. Dezember bis 15. März
- ohne Förderungen von OeMAG, Bund oder Land
- 100% Fremdfinanzierung

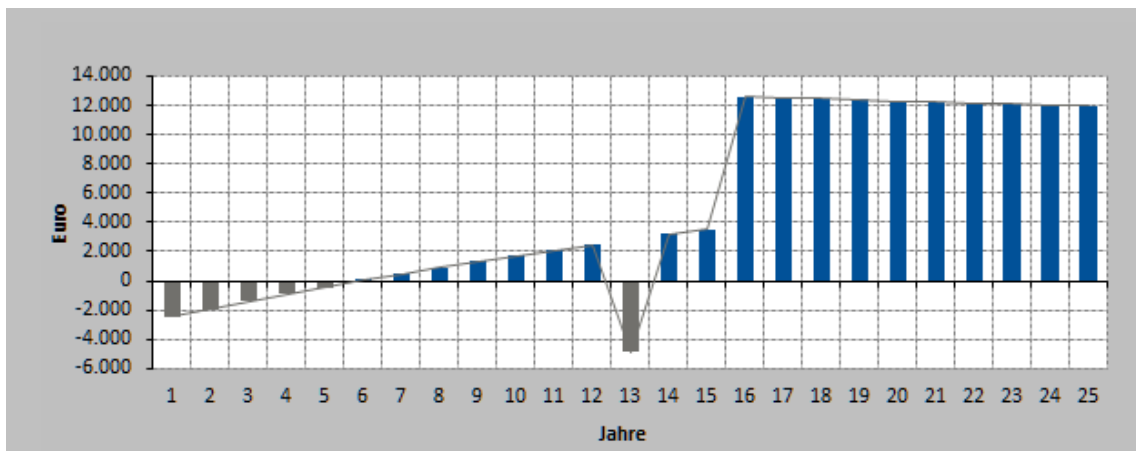
Die Verschattung hat eine Reduktion der gesamten Photovoltaik-Produktion von 151.416 kWh um 19.619,5 kWh zur Folge. Der neue Jahresertrag der Anlage beläuft sich nun auf 131.796,5 kWh. Dies ist ein Minus von 12,84%.

Ohne Förderungen von OeMAG, Bund oder Land jedoch mit dem Verschattungsanteil in den 3 Wintermonaten wird bei einer Kreditlaufzeit von 15 Jahren eine Amortisationsdauer von 14 Jahren ermittelt. Die Mehreinnahmen nach 25 Jahren belaufen sich auf 126.383 Euro.

⁸⁹ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.


 Abbildung 45: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 2)⁹⁰

In Abbildung 45 ist deutlich die Amortisationsdauer von 14 Jahren zu erkennen.


 Abbildung 46: jährliche Barwerte (Variante 2)⁹¹

Sollte sich der Eigenstromanteil von 85% auf 90% erhöhen, sinkt bei gleichbleibender Finanzierung die Amortisationsdauer auf 3 Jahre.

⁹⁰ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

⁹¹ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

Ertragsrechnung 3 mit Verschattung und Förderung

Eine Finanzierung auf Basis von 150 kWh/p und durchschnittlicher Sonneneinstrahlungsdauer sowie unten stehender Parameter stellt sich wie folgt dar:

- mit Abzüge aufgrund von Schnee-Verschattungen in der Zeit von 15. Dezember bis 15. März
- mit 30.000 Euro Förderungen von OeMAG
- 100% Fremdfinanzierung

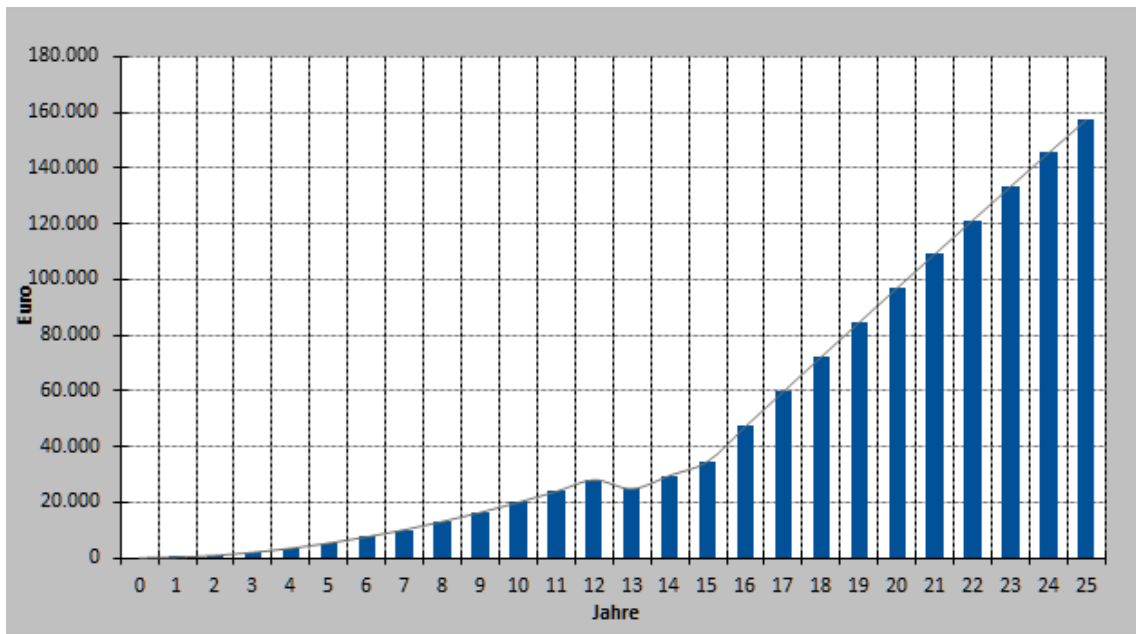


Abbildung 47: Kapitalwertverlauf 25 Jahre (Variante 3)⁹²

In Abbildung 47 kann kein negativer Kapitalwertverlauf mehr festgestellt werden.

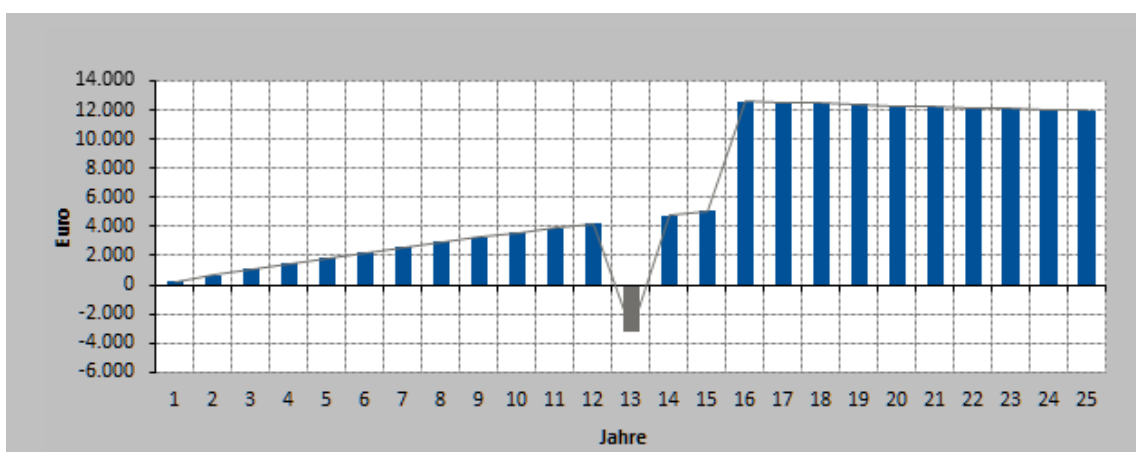


Abbildung 48: jährliche Barwerte (Variante 3)⁹³

⁹² eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

⁹³ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

Mit Förderungen von 30.000 Euro von der OeMAG und dem Verschattungsanteil in den 3 Wintermonaten werden bei einer Kreditlaufzeit von 15 Jahren Mehreinnahmen generiert, die sich nach 25 Jahren auf 157.408 Euro belaufen. Die Amortisationsdauer beträgt 0 Jahre.

Sollte sich der Eigenstromanteil von 85% auf 90% erhöhen, würden sich die Mehreinnahmen auf 164.195 Euro steigern.

Jahre	Vergütung [€/kWh]	Energieertrag [kWh]	Energieerlös [€]	Ausgaben [€]	Tilgung [€]	Zinsen [€]	Tilg.+Zinsen [€]	Cash Flow [€]	Barwerte [€]	Kapitalwert [€]	Zeit
0				0			0	0	0	0	0
1	0,12	132.385	15.841	1.853	10.000	3.750	13.750	238	233	233	0
2	0,12	131.726	16.077	1.890	10.000	3.500	13.500	687	660	893	0
3	0,12	131.071	16.317	1.928	10.000	3.250	13.250	1.139	1.073	1.967	0
4	0,13	130.419	16.560	1.966	10.000	3.000	13.000	1.594	1.473	3.439	0
5	0,13	129.770	16.808	2.006	10.000	2.750	12.750	2.052	1.859	5.298	0
6	0,13	129.124	17.058	2.046	10.000	2.500	12.500	2.513	2.231	7.529	0
7	0,13	128.482	17.313	2.087	10.000	2.250	12.250	2.976	2.591	10.120	0
8	0,14	127.843	17.571	2.128	10.000	2.000	12.000	3.443	2.939	13.059	0
9	0,14	127.207	17.834	2.171	10.000	1.750	11.750	3.913	3.274	16.333	0
10	0,14	126.574	18.100	2.214	10.000	1.500	11.500	4.386	3.598	19.931	0
11	0,15	125.944	18.370	2.259	10.000	1.250	11.250	4.861	3.910	23.840	0
12	0,15	125.318	18.644	2.304	10.000	1.000	11.000	5.340	4.211	28.051	0
13	0,15	124.694	18.923	2.350	10.000	750	10.750	-4.177	-3.229	24.822	0
14	0,15	124.074	19.205	2.397	10.000	500	10.500	6.308	4.781	29.603	0
15	0,16	123.456	19.492	2.445	10.000	250	10.250	6.797	5.050	34.653	0
16	0,16	122.842	19.782	2.494	0	0	0	17.289	12.594	47.247	0
17	0,16	122.231	20.078	2.544	0	0	0	17.534	12.522	59.769	0
18	0,17	121.623	20.377	2.595	0	0	0	17.783	12.451	72.220	0
19	0,17	121.018	20.682	2.646	0	0	0	18.035	12.380	84.600	0
20	0,17	120.416	20.990	2.699	0	0	0	18.291	12.309	96.909	0
21	0,18	119.817	21.304	2.753	0	0	0	18.550	12.239	109.148	0
22	0,18	119.221	21.621	2.808	0	0	0	18.813	12.169	121.317	0
23	0,18	118.627	21.944	2.865	0	0	0	19.080	12.099	133.416	0
24	0,19	118.037	22.272	2.922	0	0	0	19.350	12.030	145.447	0
25	0,19	117.450	22.604	2.980	0	0	0	19.624	11.961	157.408	0
Summen		3.119.369	475.767	69.349	150.000	30.000	180.000	226.418	157.408		0

Abbildung 49: Berechnung (Variante 3) ⁹⁴

In Abbildung 49 ist die genaue Berechnung aufgelistet. Diese beinhaltet alle Ausgaben und Einnahmen, Zinsen und Tilgungen sowie die berechneten Werte.

⁹⁴ eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator.

3.2.7 Förderungen

In der Regel bekommt man, wenn man in das öffentliche Netz im Rahmen der OeMAG Förderung einspeist, mehr Geld als der freie Markt bieten könnte. Laut einem von der EU gestützten Forschungsprojekt „PV-Parity“ wurde nun untersucht, ab wann Photovoltaik ohne finanzielle Hilfen und Stützen auskommen kann. Die Antwort ist länderspezifisch unterschiedlich.

Laut Georg Lettner von der Energy Economics Group der TU Wien wird diese Parität in Österreich bereits in 1-2 Jahren erreicht sein.⁹⁵

Im Falle der Bergbahn ist die Rentabilität durch den hohen Eigenstromanteil früher gegeben. Weiters ist aus dem Bundesgesetzblatt klar ersichtlich, dass die derzeit bezahlten Einspeisetarife unter den durchschnittlichen Bezugspreisen liegen.

Prognostizierte Entwicklung der Anschaffungskosten in kW/p

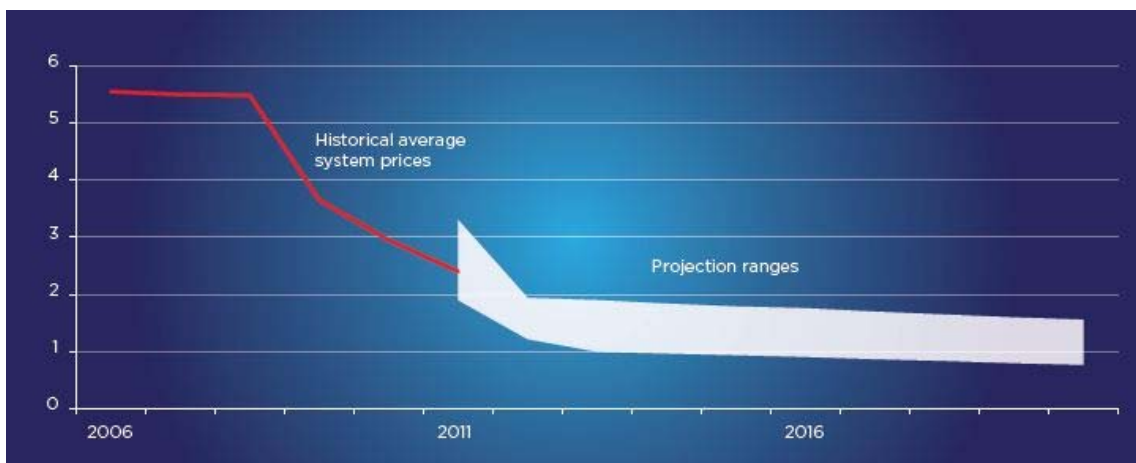


Abbildung 50: Preisentwicklung je kWp laut Studie der TU Wien⁹⁶

Eine Investition zum jetzigen Zeitpunkt von ca. 1.100 bis 1.200 Euro pro kW/p ist laut Studie sinnvoll. In Abbildung 42 wird davon ausgegangen, dass sich der

⁹⁵ übernommen von: www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/7874/

⁹⁶ Vgl: http://www.pvparity.eu/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVParity_docs/public/PVParity_Final_Report.pdf&t=1431211777&hash=ddb316c66f01f5fc27b1182698852081487561f3

Investitionspreis pro kW/p nicht mehr drastisch senken sondern stagnieren wird. Der Strompreis wird jedoch weiterhin mit Wachstumsraten von ca. 1,8 bis 2,1% pro Jahr angenommen.⁸⁷

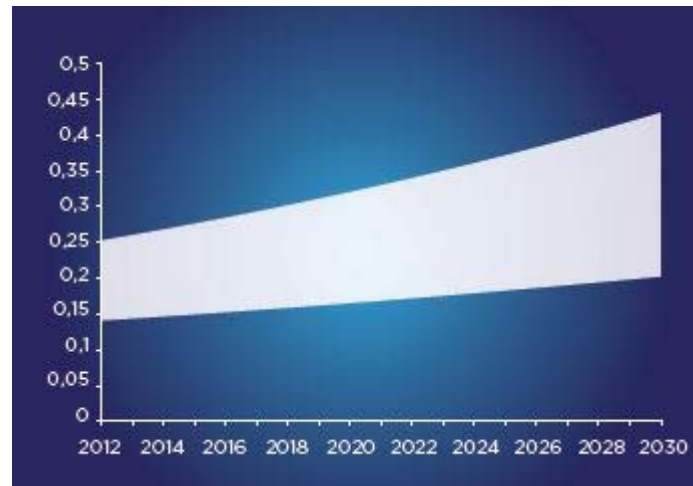


Abbildung 51: Strompreisentwicklung je kW laut Studie der TU Wien⁹⁷

Förderungsmöglichkeiten im Rahmen der österreichischen OeMAG

Einspeisetarife für die Jahre 2014 und 2015 §13a.(1) In Abweichung zu §1 Abs.2 werden für das Kalenderjahr 2014 folgende Einspeisetarife festgesetzt: Der Einspeisetarif für elektrische Energie aus Photovoltaik-Anlagen mit einer Engpassleistung von über 5 kWpeak bis 350 kWpeak, die ausschließlich an oder auf einem Gebäude angebracht sind, beträgt bei Antragstellung und Vertragsabschluss gemäß §1 im Jahr 2014: 12,5 Cent/kWh.

Als Investitionszuschuss für die Errichtung wird zusätzlich ein Betrag in Höhe von 30% der Investitionskosten, höchstens jedoch von 200 Euro/kW gewährt.⁹⁸ Der maximale Förderbetrag würde sich in unserem Falle auf 30.000 Euro belaufen.

⁷⁹ Vgl: http://www.pvparity.eu/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPARITY_docs/public/PVParity_Final_Report.pdf&t=1431211777&hash=ddb316c66f01f5fc27b1182698852081487561f3

⁹⁸ übernommen von: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, die Ökostrom – Einspeisetarifverordnung 2012 (ÖSET - VO2012).

3.2.8 Ergebnis

Zieht man in Betracht, dass die große Dachfläche des neuen Talstationsgebäudes mit nur wenig Aufwand als Fläche für eine 150 kW/p Anlage genutzt werden kann und im Steigschacht alle notwendigen Verrohrungen einfach und kostengünstig durchgeführt werden können, wären die baulichen Voraussetzungen annähernd perfekt. Auch die umwelttechnischen Werte sprechen nicht gegen eine Anlage.

Der große Eigenstrombedarf von minimum 80 Prozent lässt die Berechnung positiv ausfallen.

Ein großes Thema ist die dreimonatige Verschattung durch Schnee und Eis.

Obwohl in den Wintermonaten Dezember bis Mitte März generell nur eine schlechte Photovoltaik-Ausbeute erzielt werden kann, schlägt diese bei uns mit einem Minus von 12,84 Prozent zu Buche.

Die erwähnte Einmalförderung von 30% der Investitionskosten, höchstens jedoch 200 Euro/kWp schlagen bei einer Investition von ca. 180.000 Euro mit 30.000 Euro zu Buche.

Das Ziel sollte sein die mögliche Förderung von 30.000 Euro zu bekommen. Wird die Zusage auf Förderung von der OeMAG erteilt, verkürzt sich die Amortisationszeit von 14 auf 0 Jahre.

Darüber hinaus wurde noch nicht berücksichtigt, dass die Photovoltaik-Anlage sehr gut für Werbezwecke aller Art genutzt werden könnte.

4 Resümee

Bei gründlicher Beschäftigung mit dem Thema regenerativer und CO² neutraler Zusatzenergien stellt man fest, dass es sich hierbei teils um sehr konkrete und technisch weit fortgeschrittene Entwicklungen und Technologien handelt. Es erscheint angesichts der Verknappung fossiler Brennstoffe, der großen Belastung von Klima und Umwelt durch deren Verbrennung, aber auch durch steigende Preise am Energiemarkt als unverständlich, dass hier nicht konsequenter auf allen Ebenen vorgegangen wird.

Luftwärmepumpe:

Erneuerbare Energie, in Form der Luft-Wärmepumpe wäre aufgrund der sehr teuren Verrohrung und Einbindung in die Bestandsanlage nur bedingt rentabel. Mit den angefallenen Kosten von 35.341,78 Euro (davon 19.561,30 Euro Installateurs Kosten) wäre eine Amortisationsdauer von 11,6 Jahren (je nach Heizölpreis) möglich. Im Falle der Bergbahn sieht die Lage jedoch komplett anders aus. Durch die Gegenfinanzierung mit Werbung, der Einsparung von Heizöl und die nicht ausgeführte Erweiterung der Heizöl-Lagerstätte kommt dem Unternehmen mindestens ein Betrag von 66.403,03 Euro zu Gute.

Weiters ist die in Geld nur schwer messbare Imageaufwertung durch die Medienberichte zu erwähnen.

Photovoltaik:

Die Photovoltaik befindet sich seit Jahren im Wandel. Fallende Installationspreise, aber auch fallende Einspeisetarife verändern den Markt sowie die Rentabilität. Im Falle der Bergbahn, die aufgrund des großen täglichen Dauerverbrauches der Seilbahn auf über 80% Eigenstromverbrauch kommt, und der Einspeisetarif unter dem Bezugstarif liegt, ist eine PV-Anlage trotzdem sinnvoll.

Die beste Vorgehensweise für die Bergbahn aus meiner Sicht wäre, das Projekt bei der OeMAG für das Jahr 2016 einzureichen um auf die Förderung abzuführen. Es würde damit eine Anlage installiert, die ab dem ersten Jahr positiv betrieben werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] übernommen von: Sportcenter Festschrift Dez. 2005
- [2] übernommen von Skiwelt: <http://www.skiwelt.at/de/skiwelt-wilder-kaiser-brixental-1.html>
- [3] übernommen von: Wirtschaftsbericht der Wirtschaftskammer Abteilung „Seilbahnen Österreichs“ 2012/ 2013 erstellt von der Firma MANOVA GmbH
- [4] übernommen von: Bergbahnen Ellmau–Going
- [5] übernommen von: Bergbahnen Ellmau–Going
- [6] eigene Zusammenstellung; Kreisdiagramm Pistenfläche – Daten Bergbahnen Ellmau-Going
- [7] Vgl. Die Verkehrssicherungspflicht für Skiabfahrten „Leitfaden für den Pisten – und Rettungsdienst“ Dr. Helmut Lamprecht; Prof. Peter Schröcksnadel; Seite 34
- [8,9] übernommen von: „Analyse und Bedarfsermittlung der Bergbahn Ellmau-Going“
- [10] eigene Zusammenstellung: – Daten Bergbahnen Ellmau-Going
- [11] übernommen von:
<http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm>
- [12] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 17
- [13] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an:
<http://absorptionsmaschine.de/geschichte-der-waermepumpe.html>
- [14] übernommen von: <http://www.presseportal.de/pm/8286/370621/ein-weltpatent-feiert-geburtstag>
- [15] übernommen von:
<http://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion.html>
- [16] übernommen von: <http://www.diekaelte.de/Verfluessigen-und-Verdampfen,QUIEPTM3ODU1MiZNSUQ9MzAwMDc.html>
- [17] übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 19
- [18] übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 19

- [19] übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 21
- [20] übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 20
- [21] übernommen von: http://www.effiziente-mepumpe.ch/wiki/Leistungszahl_%28COP%29
- [22] übernommen von: https://www.energie-tirol.at/fileadmin/komfortlueftung/02_JAZcalc.pdf
- [23] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: <http://www.bine.info/themen/publikation/elektrisch-angetriebene-waermepumpen/leistungsregelung-der-waermepumpe/>
- [24] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 27
- [25,26] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 27
- [27] eigene Zusammenstellung, in Anlehnung an: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyrehg>
- [28] übernommen von: <http://www.wasserundwaerme.de/wordpress/wp-content/uploads/2010/11/Plattenwaermetauscher-Bild.jpg>
- [29] in Anlehnung an: <http://www.poeltec.com/umruestung/waermetauscher.php>
- [30] übernommen von: Planungshandbuch Wärmepumpen, Viessmann, Seite 30
- [31] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [32,33] übernommen von: www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-vwl-s-8339.de_at.html
- [34] übernommen von: www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-plus-vws-6528.de_at.html#modal-product-91503/0
- [35] übernommen von: http://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/geotherm-vwl-s-8339.de_at.html
- [36] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [37] eigene Zusammenstellung: Heizungssteuerung Bergbahn Ellmau-Going
- [38] eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahn Ellmau-Going
- [39] eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahn Ellmau-Going
- [40] eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahn Ellmau-Going

- [41] eigene Zusammenstellung: Datenerhebung Bergbahn Ellmau-Going
- [42] übernommen von: Wärmepumpen-Markt Österreich 2005, Univ.-Prof. DI Dr. mont. Gerhard Faninger
- [43] übernommen aus: KSW ANGEBOT - Nr.: 078595 sowie Nr.: 078611
- [44] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [45] übernommen von: http://medienwerkstatt-online.de/lws_wissen/vorlagen/showcard.php?id=17646&edit=0
- [46] übernommen von: http://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2014/06/2014-06-12-Entwicklung_PV_in_Oesterreich.jpg
- [47] in Anlehnung an: <http://www.eps-solarstrom.de/photovoltaik/module.php>
- [48] übernommen von: <http://www.energieteam-sued.de/index.php?page=Standardmodul>
- [49] in Anlehnung an: <http://www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme>
- [50] übernommen von: <http://www.eps-solarstrom.de/photovoltaik/module.php>
- [51] in Anlehnung an: <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikeljuni2006.html>
- [52] übernommen von: <http://www.solarserver.de/l8mimages/news/gse.jpg>
- [53] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Volker Quaschning
- [54] übernommen von: <http://www.work-crew.de/wordpress/wp-content/uploads/2011/>
- [55] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 174, Volker Quaschning
- [56] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 186, Volker Quaschning
- [57] übernommen von: <http://www.photovoltaikbuero.de/wp-content/uploads/2014>
- [58] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 205, Volker Quaschning
- [59] in Anlehnung an: Regenerative Energiesysteme, Seite 206, Volker Quaschning
- [60] übernommen von: <http://de.wikipedia.org/wiki/Aufw%C3%A4rtswandler>
- [61] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschning
- [62] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschning

- [63] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 208, Volker Quaschning
- [64] in Anlehnung an: <http://www.photovoltaiik-guide.de/wechselrichtertypen>
- [65] übernommen von:
http://www.lti.kit.edu/rd_download/Solarenergie_08014_Photo.pdf
- [66] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 227, Volker Quaschning
- [67] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 227, Volker Quaschning
- [68] übernommen von:
http://www.lti.kit.edu/rd_download/Solarenergie_08015_Photo.pdf
- [69] übernommen von: Regenerative Energiesysteme, Seite 232, Volker Quaschning
- [70] übernommen von: <https://www.google.at/maps/place/Ellmau/@47.5192499,12.286135,12z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x4776496bb58711ff:0x4ef37e24bcb7f>
- [71] übernommen von: ZAMG
- [72] übernommen von: http://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/photovoltaik_grundlagen/wie_viel_energie_bekommen_wir_aus_der_sonnenstrahlung.html
- [73] übernommen von: Klimadatensatz Ellmau, ZAMG
- [74] eigene Zusammenstellung: 3D Talstation Bergbahnen Ellmau-Going
- [75] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [76] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [77] eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going Montagemöglichkeit
- [78] eigene Zusammenstellung: Bergbahnen Ellmau-Going
- [79] übernommen von: <http://www.sol-distribution.com.au/BenQ/BenQ-Green-Triplex-Poly-Data-Sheet.pdf>
- [80] übernommen von: <http://palme-solar.de/duoflat/>
- [81] übernommen von: <https://superexpo.com/palme-solar-gmbh&pid=8198>
- [82] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [83] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [84] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [85] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going
- [86] eigene Zusammenstellung: Bergbahn Ellmau-Going

[87] eigene Zusammenstellung: Berechnungstool der Österreichischen Energieagentur [88] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[89] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[90] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[91] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[92] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[93] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[94] eigene Zusammenstellung: www.pvaustria.at/meine-pv-anlage/pv-tools/pv-simulator

[95] übernommen von: www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/7874/

[96]

Vgl: http://www.pvparity.eu/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPARITY_docs/public/PVParity_Final_Report.pdf&t=1431211777&hash=ddb316c66f01f5fc27b1182698852081487561f3

[97] Vgl: http://www.pvparity.eu/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/PVPARITY_docs/public/PVPariy_Final_Report.pdf&t=1431211777&hash=ddb316c66f01f5fc27b1182698852081487561f3

[98] übernommen von: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, die Ökostrom – Einspeisetarifverordnung 2012 (ÖSET - VO2012).

Danksagung

Hiermit möchte ich mich für die entgegengebrachte Unterstützung der Bergbahnen Ellmau-Going GmbH & Co Hartkaiserbahn recht herzlich bedanken.

Besonders danken möchte ich meiner Frau Katja und meinen Kindern, die mich in den letzten Jahren unterstützten und mir die Motivation und Zeit für das Studium gaben.

Verpflichtungs- und Einverständniserklärung

Ich erkläre, dass ich meine Diplomarbeit selbstständig verfasst und alle in ihr verwendeten Unterlagen, Hilfsmittel und die zugrunde gelegte Literatur genannt, und die Stellen, die wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ich nehme zur Kenntnis, dass auch bei auszugsweiser Veröffentlichung meiner Diplomarbeit der Arbeitsbereich und das Institut sowie die Leiterin bzw. der Leiter der Lehrveranstaltung, im Rahmen derer die Diplomarbeit abgefasst wurde, zu nennen sind.

Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde. Ich versichere, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version der Arbeit übereinstimmt.

Mariastein, 30. Mai 2015

Ing. Johannes Winkler